



# **LANGATON ENERGIANMITTAUS JA -OHJAUS**

Toni Reinikainen

Opinnäytetyö  
Huhtikuu 2012  
Sähkötekniikka  
Talotekniikka

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU  
Tampere University of Applied Sciences

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Sähkötekniikka  
Talotekniikka

REINIKAINEN, TONI  
Langaton energiamittaus ja -ohjaus

Opinnäytetyö 51 sivua, josta liitteitä 2 sivua  
Huhtikuu 2012

---

Opinnäytetyössä tutkittiin mahdollisuuksia yhdistää MeshWorks Wireless Oy:n langattomien Zigbee-laitteiden hyödyntämistä energiamittauksessa ja energianohjauksessa. Työn päätarkoitus oli rakentaa laite, jolla voidaan mitata energiankulutusta langattomasti ja yhdistää mittaukseen langaton laitteenohjaus.

Työssä tutustuttiin Zigbee-radioverkon rakenteeseen, toimintamalleihin ja hyötyihin. Lisäksi tutkittiin energiamittausvaihtoehtoja ja tutkittiin erilaisten ohjausvaihtoehtojen hyötyjä ja haittoja. Työssä rakennettiin laitteen testauskäyttöympäristö. Lisäksi työssä pohdittiin laitteen hyödyntämismahdollisuuksia osana automaatio-sovellutuksia.

Jotta laite voitaisiin saattaa markkinoille, täytyy ottaa huomioon vielä turvallisuuteen ja käyttöolosuhteisiin velvoittavat ja ohjaavat säädökset. Lisäksi laitteen teknisiä ominaisuuksia täytyy parantaa tehonkeston ja koon osalta.

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Electrical Engineering  
Building Services

REINIKAINEN, TONI :  
Wireless energy measurement and energy control

Bachelor's thesis 51 pages, appendices 2 pages  
April 2012

---

This thesis investigates the possibilities to combine utilizing MeshWorks Wireless Ltd wireless Zigbee devices in both energy measurement and energy control. The main objective of the thesis was to build a device which can be used to measure energy consumption and connect a wireless device control to the measurement.

This thesis explores the structure, operational models and benefits of Zigbee radio network. Furthermore the thesis also investigates different options for energy measurement and benefits and drawbacks of different control alternatives. A testing environment for the device was built. In addition the thesis considers the potential exploitation of the device as a part of automation applications.

Before the device could be brought to the market, the rules and regulations considering safety and operating conditions must be taken into account. Additionally the technical features of the device concerning power durability and physical size must be improved.

---

Key words: zigbee energy measurement

SISÄLLYS	
ERITYISSANASTO .....	6
1 JOHDANTO.....	8
2 ZIGBEE –LYHYEN KANTAMAN TIETOLIIKENNEVERKKO .....	9
2.1 ZigBeen alakategoriat .....	10
2.2 Topologia .....	10
2.2.1 Tähti-verkko .....	11
2.2.2 Puu-verkko .....	12
2.2.3 Silmukka-verkko .....	12
3 MESHWORKS WIRELES OY – TYÖN TEETTÄJÄ YRITYS .....	13
3.1 SeeMoto järjestelmän toiminta .....	13
3.2 SeeMoto palvelu .....	14
3.3 SeeMoto anturit.....	15
3.3.1 MWW-Smartplug -Zigbee reititin.....	15
4 TYÖN ETENEMINEN .....	16
5 ENERGIAMITTAUS .....	17
5.1 Analoginen energiamittaus .....	20
5.2 Elektroninen energiamittaus .....	20
6 ENERGIAMITTARI .....	22
6.1 DIN-kiskoon liitettävät energiamittarit .....	22
6.2 IC-piiristä rakennettavat energiamittarit .....	23
6.3 Energiamittaus testialustat .....	23
6.3.1 MCP3905EV energian mittaus testialusta .....	24
6.3.2 TI's Energy Watchdog energian mittaus testialusta.....	25
7 OHJAUS MAHDOLLISUUDET .....	26
7.1 Ohjauksien vertailu .....	26
7.1.1 Rele-ohjaus.....	26
7.1.2 Triac-ohjaus.....	27
7.1.3 Tehotransistori-ohjaus IGBT .....	30
8 LAITTEEN RAKENTAMINEN .....	32
8.1 Toiminnan yleiskuvaus .....	33
8.2 Energiamittaus .....	33
8.3 Laitteen ohjain .....	35
8.3.1 Kauko- ja paikallisohjaus autolämmitystolpalle .....	37
9 MARKKINOILLE SAATTAMINEN .....	38
9.1 Pienjännitedirektiivi (LVD) .....	38
9.2 Muut huomioon otettavat direktiivit .....	39
10 TUOTTEEN SOVELTAMINEN .....	40
10.1 Ohjaus ja ajastus .....	40
10.2 Hälytykset .....	41
10.3 Käyttökohteet .....	41
10.3.1 Valaistuksen ohjaus.....	42
10.3.2 Pistorasia ohjaus.....	45

11 YHTEENVETO .....	47
LÄHTEET .....	48
LIITTEET .....	50
Liite 1. Laitteen toiminnan kuvaus .....	50
Liite 2. Kauko- ja paikallisohjaus .....	502

## ERITYISSANASTO

BJT	bipolaaritransistoreihin
DIN	standardoitu kiinnityskisko
DVD	Optinen datan tallennusvälinen (Digital Video Disk)
Fett	kanavatransistori
GHz	gigahertsi
GPS	Global Positioning System
IC	Integroitu mikropiiri (Integrated Circuit)
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IGBT	Tehotransistori
Jumpperi	Oikosulkupala, jolla yhdistetään piirilevyllä olevia nastoja
kb/s	kilobittiä sekunnissa
kWh	kilowattitunti
MHz	megahertsi
MSP430	Microkontrolleri
OSI	Open Systems Interconnection Reference Model
RC	Vastuksen ja kondensaattorin aikaan saama suodin
Shuntti	Pieni vastuksinen vastus
Tyristori	Nelikerroksinen bipolaarinen puolijohdekomponentti
Triac	Puolijohdekomponentti (Triode for Alternating Current)
SeeMoto	MeshWorks Wireless Oy:n palvelu
SFS	Suomen Standardisoimisliitto
SmartPlug	Zigbee reititin
SeeMoto	Yhdistelmä uudenlaista langatonta anturiteknologiaa

VAr	Loistehon yksikkö Vari
VA	Näennäistehontunnus Volttiampeeri
WLAN	Langaton lähiverkkotekniikka (Wireless Local Area Network)
Zigbee	Lyhyen kantaman tietoliikenneverkko

## 1 JOHDANTO

Sähköenergian hinta on yli kaksinkertaistunut vuosien 2000–2011 aikana, ja sen ennustetaan nousevan edelleen (Energiamarkkinavirasto 2011). Euroopan Unioni on asettanut 20 % energiansäästötavoitteen vuoteen 2020 mennessä. Energian säästäminen on nykypäivän ajattelutapa, mutta siitä huolimatta ihmisten energiankulutus kasvaa koko ajan. Ihmiset ovat tottuneet parempaan elämänlaatuun, mikä kuluttaa energiaa. Jotta energian kasvua saataisiin hillittyä, täytyy energiaa ruveta mittaamaan ja ohjaamaan älykkäästi. Älykkään energianmittauksen tietoja ja rekisteröintiä voi hyödyntää tehokkaasti automaatio-sovellutuksissa. Työssäni rakennettiin laite, millä saadaan energiankulutus tieto reaaliajassa kuluttajalle. Laitetta voidaan ohjata joko paikallisesti tai etäohjauksella palvelimen välityksellä. Laite rakennetaan hyödyntäen langatonta ZigBee -tekniikkaa, joka mahdollistaa laitteen ohjauksen Internetin tai matkapuhelimen välityksellä. Laitteella pystytään ohjaamaan pistorasioita päälle/pois -tilaan ja näkemään pistorasiassa olevien laitteiden energiankulutus. Laitteella pystytään myös säätämään valaistusvoimakkuutta ja näin säästämään energiaa. Työssä selvitetään ZigBee-verkon rakenteet ja Meshworks Wireless Oy:n tuottamat palvelut ZigBee-ympäristössä. Työssä selvitetään energiamittauksen periaatteet ja pohditaan ohjauksen erilaisia vaihtoehtoja.



## 2 ZIGBEE –LYHYEN KANTAMAN TIETOLIIKENNEVERKKO

ZigBee on lyhyen kantaman tietoliikenne- ja ohjausverkko, joka kuluttaa vähän tehoa (ZigBee Technology). ZigBee pohjautuu IEEE 802.15.4 -standardiin. Standardi määrittelee verkon OSI-mallin alimmat kerrokset eli fyysisen- ja siirtokerroksen. ZigBee -allianssi, joka on kehittänyt ZigBee -tekniikan, määrittelee OSI-mallin ylemmät kerrokset (IEEE 802.15.4). Taajuusalueenaan ZigBee käyttää Suomessa 2,4 gigahertsiä ja 868 megahertsiä. 2,4 GHz -taajuus on lisenssivapaa koko maailmassa, ja samaa taajuutta käyttävät myös WLAN ja mikroaaltouuni. ZigBee-laitteet on kuitenkin tehty IEEE 802.15.4 -standardin mukaan siten, että ne kykenevät toimimaan WLAN:n kanssa samalla taajuudella. 2,4 GHz -taajuus on 16-kanavainen, ja sen siirtonopeus on 250 kb/s, toisin kuin 868 MHz -taajuusalueella on vain yksi kanava, ja sen nopeus on 20 kb/s. 868 MHz:in taajuusalue on lisenssivapaa vain Euroopassa. (Radiotaajuudet 2011.) Nimensä ZigBee on saanut mehiläisten hunajankeruumenetelmästä, jossa mehiläiset kulkevat kahdeksikonmuotoista kuviota ja lähettävät tietoa keskenään keruupaikoista (waggle dance). ZigBee-verkon laitteet kommunikoivat siis keskenään aivan samalla tavalla kuin mehiläiset, eli lähettävät tietoa keskenään laitteelta laitteelle. Laitteiden väliset etäisyydet avoimessa tilassa ovat sadoista metreistä aina useisiin satoihin metreihin riippuen maastosta ja sen muodoista. Sisätiloissa laitteiden kantamat ovat kymmenestä metristä aina sataan metriin, kun otetaan huomioon rakennuksen rakennusmateriaalit ja antennien välissä olevat esteet ja lähetystehon.

## 2.1 ZigBeen alakategoriat

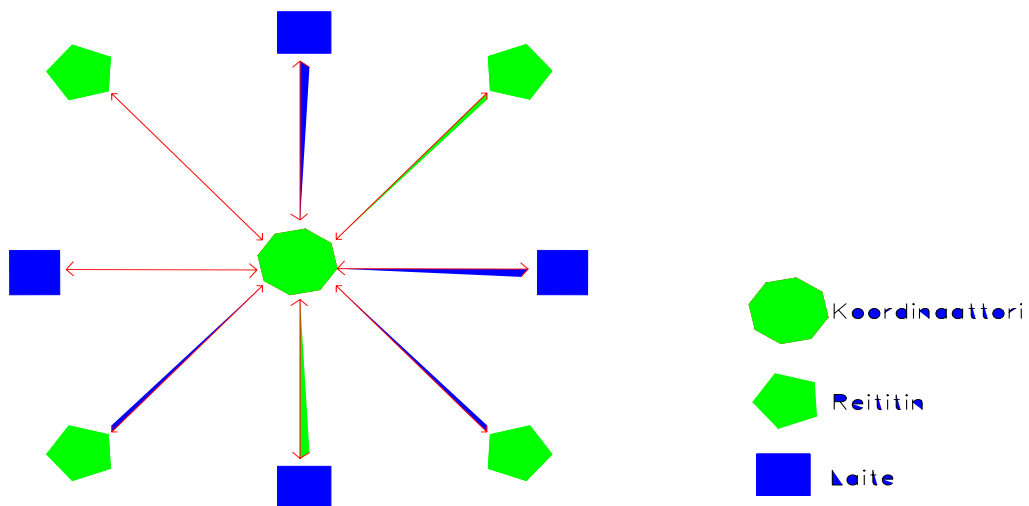
ZigBee standardissa on useita ala kategorioita, jotka eivät keskustele keskenään. Ala kategorioiden tietoja voidaan kuitenkin yhdistää, jolloin saadaan aikaan kokonaisuus. Alakategorioita on Smart Energy, Home Automation, Health Care ja Building automation. Zigbee energiamittaukset perustuvat Smart Energy standardiin. Mittauksista saatua tietoa voidaan hyödyntää kiinteistöautomaatiossa. Home Automation puolestaan ohjaa kotitalouksien laitteita kuten DVD-soitinta tai televisiota. Työni laite yhdistää Smart Energyä ja Home Automatiota.(ZigBee Standard Overview 2012)

## 2.2 Topologia

Topologia kuvaa malleja, jollaisia ZigBee -verkon laitteet voivat verkottaa toistensa kanssa. ZigBee:ssä on pääasiassa kaksi eri topologiaa, tähti- ja vertaisverkko. Vertaisverkko mahdollistaa kuitenkin monimutkaistenkin verkkojen teon. Laitteet muodostavat yhteyden toisten laitteiden kanssa, jotka käyttävät samaa taajuuskanavaa ja – alakategoriaa. Verkon muodostavat koordinaattori, reititin ja laite. Koordinaattori koordinoi koko verkkoa ja yhdistää verkon toiseen, ja reitittimet välittävät tietoa koordinaattorin ja laitteiden välillä. Laitteet voivat olla antureita tai ohjaimia. ZigBee -laitteet ja reitittimet lähettävät tietoa keskenään aina koordinaattorille saakka, joka siirtää saadun datan palvelimelle, josta sen voi noutaa. Yhdessä verkossa voi olla 1- 255 laitetta, ja verkkoja on mahdollista yhdistää toisiinsa 254 kappaletta. Näin ollen yhden ZigBee -verkon laitteiden maksimimäärä on 64 770 kappaletta. (Kinney 2003, 24)

### 2.2.1 Tähti-verkko

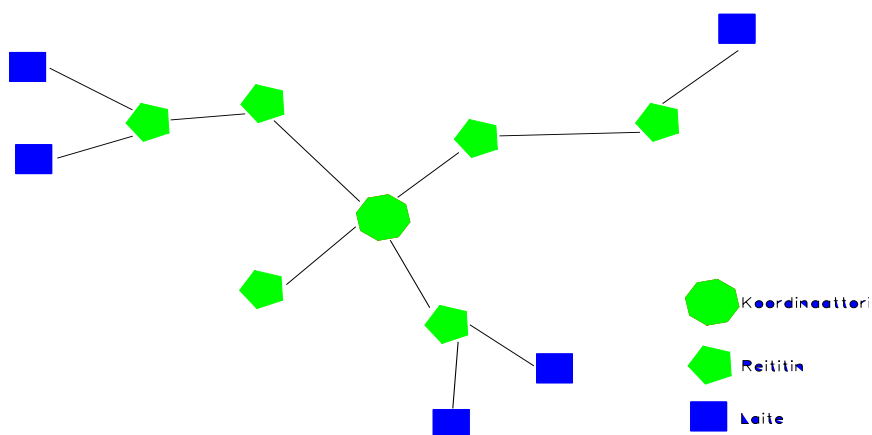
Kuviossa 1 on esitetty Tähti-verkko, jossa koordinaattori on kaiken keskellä ja keskustelee kaikkien muiden verkon laitteiden kanssa. Tähdessä verkon reitittimet ja laitteet eivät keskustele keskenään.



KUVIO 1. Tähti-verkon rakenne

### 2.2.2 Puu-verkko

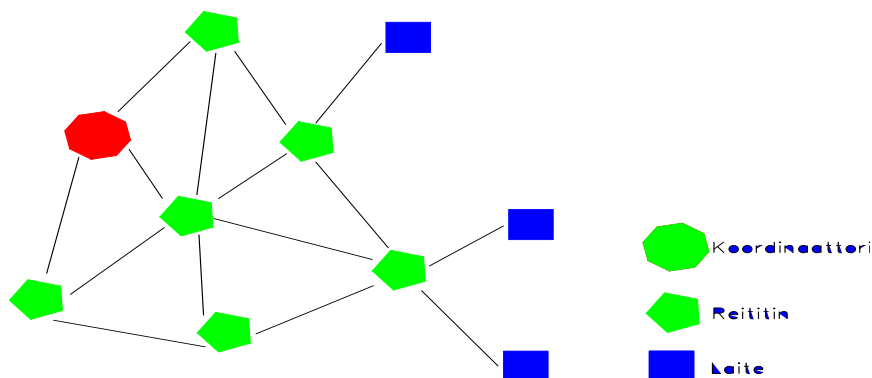
Puu on vertaisverkon yksinkertainen topologiamalli, jossa laitteet keskustelevat reitittimien välityksellä tai itsenäisesti aina koordinaattorille saakka. Puu-topologia on esitetty kuviossa 2 ja se mahdollistaa laitteen ja koordinaattorin välille suuremmat välimatkat kuin tähti-verkko.



KUVIO 2. Puu-verkon rakenne

### 2.2.3 Silmukka-verkko

Kuvio 3 esittää silmukka-verkkoa, jossa kaikki reitittimet keskustelevat keskenään ja välittävät laitteen tiedot koordinaattorille. Silmukka-verkko on vaativa vertaisverkkotopologia, mikä mahdollistaa käytännössä melkein minkä muotoisen verkon tahansa.



KUVIO 3. Silmukka-verkon rakenne

### 3 MESHWORKS WIRELES OY – TYÖN TEETTÄJÄ YRITYS

MeshWorks Wireless Oy on tamperelainen yritys, joka on perustettu vuonna 2007 ja on osa e-Bros Corporatiota. Yritys suunnittelee ja valmistaa ZigBee -verkkoa hyödyntäviä anturi- ja ohjauslaitteita. Laitteiden lisäksi yritys tarjoaa palveluja, jotka hyödyntävät ZigBee -verkosta saamiaan tietoja. Yrityksen ratkaisut hyödyntävät laajaa joukkoa, kuten kalustonhallintaa, logistiikkaa, energia-alan ja kiinteistöjen hallinta.

#### 3.1 SeeMoto järjestelmän toiminta

Kuviosta 4 näkyy, kuinka SeeMoto -järjestelmä toimii. Kuvassa anturit lähettävät tietonsa tukiasemalle, josta se lähettää tiedon palvelimelle. Palvelimelta tiedon voi käydä katsomassa lähes reaaliaikaisesti matkapuhelimella tai Internetin välityksellä. GPS -järjestelmä antaa tukiasemalle laitteen sijainnin. Satelliittitietoa voidaan hyödyntää liikuvissa kohteissa, kuten kuljetuskaluston sijainninmäärittämisessä.



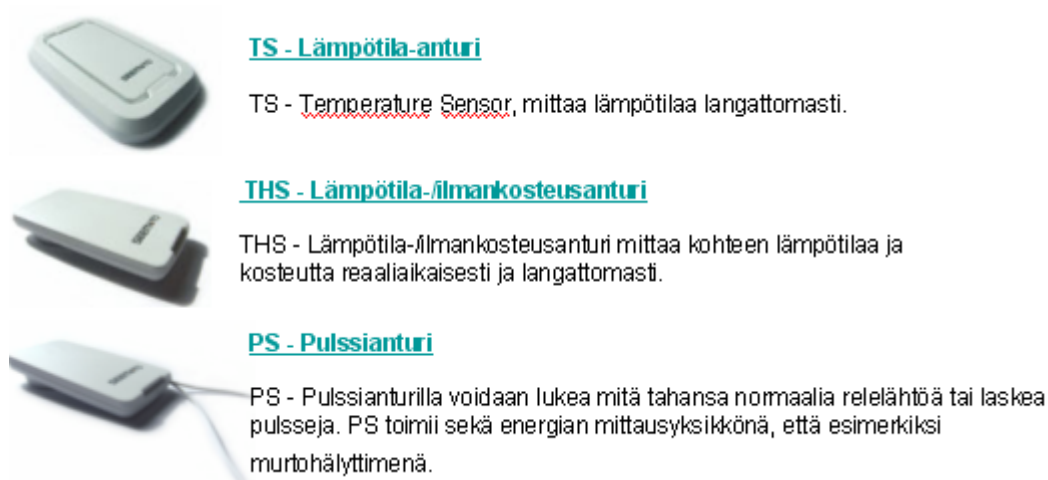
KUVIO 4. SeeMoto järjestelmä

### 3.2 SeeMoto palvelu

SeeMoto -palvelu on selainpohjainen käyttöliittymä, joka näyttää lähes reaaliajassa 24/7 halutun tiedon palvelun ostajalle. Palvelusta on nähtävissä reaalityiedon lisäksi historia-tiedot halutulta ajanjaksolta ja hälytykset. Tiedot on tallennettu palvelimelle, joka on turvallinen, suojattu ja varmuuskopioitu. Palvelusta saa halutessaan hälytykset poikkeavista arvoista tekstiviestillä tai sähköpostitse. Tietoa voidaan myös jakaa palvelusta eteenpäin rajoitetusti esimerkiksi kiinteistöhuollolle. Palvelusta saatuja tietoja voidaan hyödyntää tutkittaessa kohteen lämpötiloja, ilman kosteutta, hiilidioksidiarvoja, tai vaikkapa antaa tiedot eteenpäin kiinteistöautomaatiolle.

### 3.3 SeeMoto anturit

SeeMoto -tuoteperheellä on kattava valikoima erilaisia langattomia antureita teollisiin sovellutuksiin. Kun yhdistetään SeeMoto -palvelun langattomat anturit ja langattoman ohjauksen, saadaan aikaan kattava ja monipuolinen kokonaisuus, jota voidaan hyödyntää energiatehokkuuden ja yrityksen resurssien käytön tehostamisessa. Kuviossa 5 on esitelty MeshWorks Wireless Oy:n anturi tarjonta.



KUVIO 5. MeshWorks Wireless Oy:n anturi tarjonta

#### 3.3.1 MWW-Smartplug -Zigbee reititin

MWW-Smartplug on MeshWorks Wireless Oy:n suunnittelema laite, jonka kaikki anturit ja ohjaimet pitävät sisällään. Smartplug pitää sisällään prosessorin, ZigBee-radion ja mahdollisesti myös lämpötila- ja kosteusanturin. MWW-Smartplug laitteen tarkoitus on ohjata työssä ohjausyksikköä ja viedä energiamittarin pulssilähtö tieto palvelimelle.

## 4 TYÖN ETENEMINEN

Alun perin työssäni oli tarkoitus rakentaa langaton autonlämmitystolpan ohjaus. Tarkoituksena oli luoda laite, jolla voisi mitata autonlämmityksen energiankulutusta ja ohjata lämmityksen päälle/pois-tilaa langattomasti tietokoneen tai matkapuhelimen välityksellä. Laite oli tarkoitus koota valmiista moduuleista, MWW-Smartplug, energiamittarista ja ohjaus yksiköstä. MWW-Smartplug laitteen tavoite on kerätä kulutustieto energiamittarin pulssiulostulosta ja siirtää tieto palvelimelle. MWW-Smartplug-laitteen oli myös tarkoitus ohjata ohjausyksikköä palvelimen kautta. Työn alkuvaiheessa ongelmaksi muodostui laitteiden toimivuus autonlämmitystolpassa. Laitteiden valmistajien antamat käyttölämpötilat eivät riittäneet yleensä kuin -5 - -25 C asteeseen energiamittareissa. Ohjaukseen löytyi sopivia releitä, joiden käyttölämpötilaksi valmistaja lupasi -40 °C. Koska alkuperäisessä ideassa lämpötilat muodostuivat esteeksi, rupesin suunnittelemaan energiamittaria IC-piiristä. Koska energiamittari itse tehtynä pienensi tilaa verrattuna valmiisiin mittareihin, alettiin ohjaustakin suunnitella piirilevyille. Näin laitteesta syntyy yksi laite alkuperäisen moduulirakennelman sijaan.



## 5 ENERGIAMITTAUS

Kotitalouksissa energiamittauksissa mitataan käytettyä pätöenergiaa ajan suhteen, min-  
kä yksikkö on kWh (Ahoranta 2002, 222). Loistehoa täytyy mitata, jos loistehon osuus  
pätötehosta on yli 16 prosenttia induktiivista tai neljä prosenttia kapasitiivista (Lehtonen  
2010, 5). Loistehoa mitataan yleensä suurissa liike-, koulu- ja toimistorakennuksissa  
sekä teollisuudessa (Ahoranta 2002, 222). Suomessa verkkovirta on vaihtosähköä muo-  
doltaan sinikäyrrää, jännitteeltään 230 volttia ja taajuudeltaan 50 hertsiä. Taajuus saa  
suomen verkkovirrassa vaihdella standardin SFS-EN 50160 mukaan  $50 \text{ Hz} \pm 1$  prosent-  
tia 99,5 prosenttia ajasta. Jännite saa verkkovirrassa vaihdella standardin SFS-EN 50160  
mukaan  $\pm 10 \%$ . (SFS EN 50160, 20) Pätöteho lasketaan hetkellisestä jännitteestä ja  
hetkellisestä virrasta kaavan 3 mukaan (Silvonen 2005, 173).

$$u(t) = u = \hat{u} \sin(\omega t + \phi_u) \quad (1)$$

$$i(t) = i = \hat{i} \sin(\omega t + \phi_i) \quad (2)$$

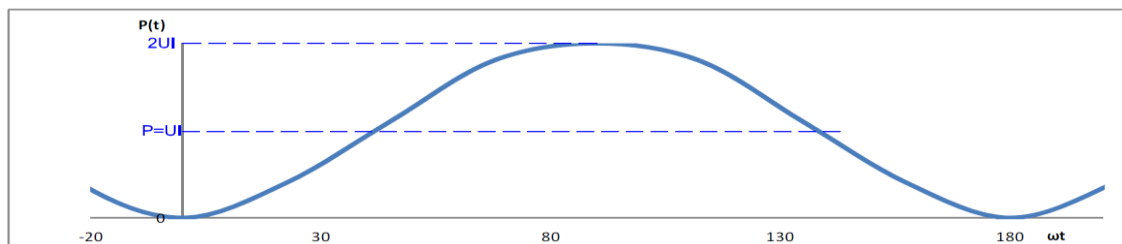
$$p(t) = ui = \hat{u}\hat{i} \sin(\omega t + \phi_u) \sin(\omega t + \phi_i) \quad (3)$$

$$\gamma = \phi_u - \phi_i \quad (4)$$

$$S = \frac{p(t)}{\cos \gamma} \quad (5)$$

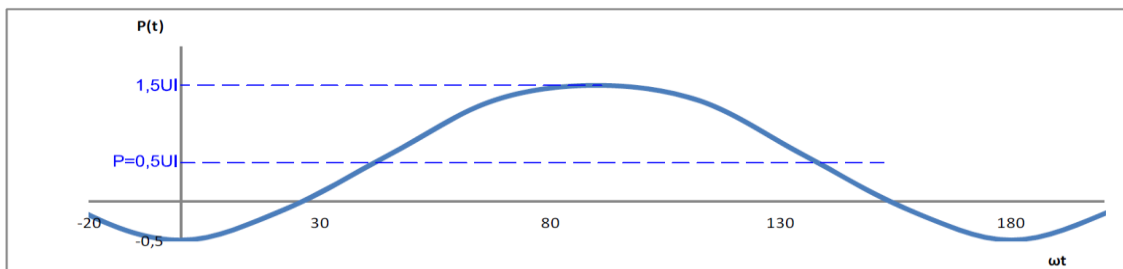
$$Q = \frac{\tan \gamma}{p(t)} \quad (6)$$

Kaavan 3 termi  $\omega t$  on vakio, ja se kuvaa keskimääräistä tehoa eli pätötehoa. Toinen ter-  
mi  $\phi$  kuvaa vaihesiirtoa. Vaihesiirto täytyy ottaa huomioon, jotta saadaan aikaan todelli-  
nen pätöteho. Esimerkkinä vaihesiirron merkityksestä voidaan ottaa kolme eri vaihe-  
kulman arvoa ( $\phi = 0^\circ, 60^\circ, 90^\circ$ ). Oletetaan, että  $\phi_{i=0}$ , joten  $\phi = \phi_u$ . Kuviossa 6 on käyrä,  
jossa jännite ja virta ovat samanvaiheisia. Hetkellinen teho pysyttelee koko ajan positiivisella puolella. (Silvonen 2005, 174.)



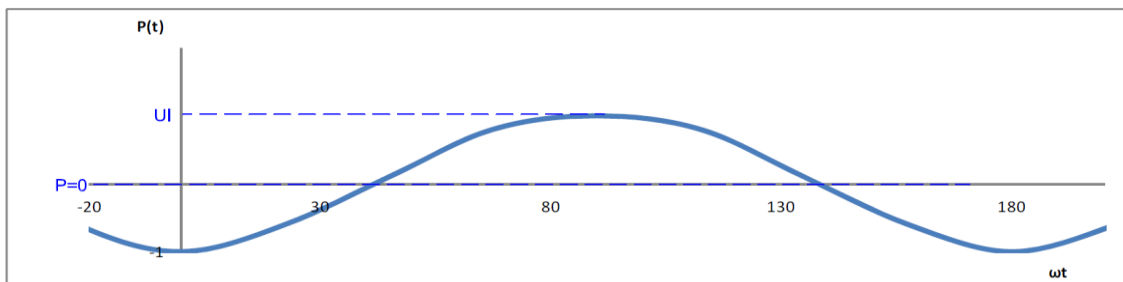
KUVIO 6. Tehon kuvaaja, mikäli jännite ja virta samanvaiheisia (Silvonen 2005, 174.)

Toisessa esimerkissä vaihe-ero jännitteen ja virran välillä on  $60^\circ$ . Kuviossa 7 on nähtävissä, että teho menee ajoittain negatiiviselle puolelle, ja pätöteho on tipahtanut puoleen, verrattuna tilanteeseen, että vaihesiirtoa ei ole. (Silvonen 2005, 174.)



KUVIO 7. Tehon kuvaaja, mikäli jännitteen ja virran vaihe ero  $60^\circ$  (Silvonen 2005, 174.)

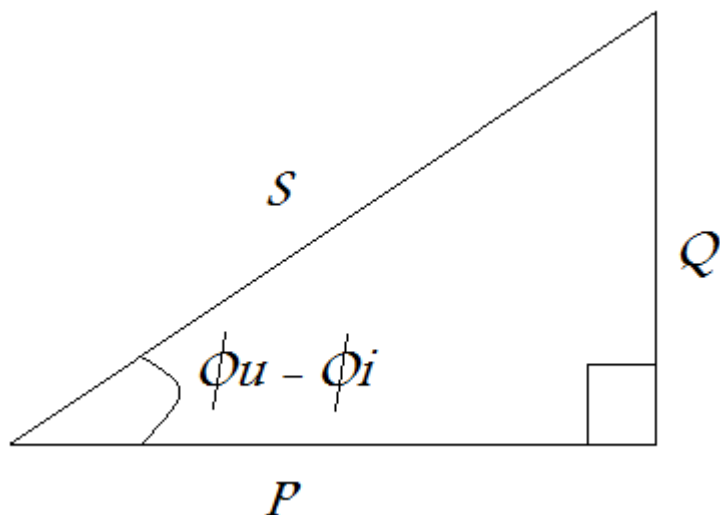
Esimerkissä kolme on vaihe-ero jännitteen ja virran välillä  $90^\circ$ . Tällöin kuorma on täysin induktiivinen, kuten Kuviossa 8 näkyy. Tällöin teho virtaa puoli jaksoa positiivisella ja puoli jaksoa negatiivisella puolella, ja näin pätötehon arvoksi tulee nolla. (Silvonen 2005, 174.)



KUVIO 8. Tehon kuvaaja, mikäli jännitteen ja virran vaihe ero  $90^\circ$  (Silvonen 2005, 174.)

Kotitalouksien sähkölaitteet toimivat esimerkkien yksi ja kaksi välimaastossa. Ensimmäisen esimerkin mukaan toimivat hehkulamppu, lämmityspatterit ja kiuas. Loistelamput ja moottorit toimivat usein toisen esimerkin mukaan tehokertoimen  $\cos \phi$  arvoilla 0,5-1,0.

Kun tiedetään sähkölaitteen pätöteho, saadaan tehokolmion avulla tietää myös lois- ja näennäisteho. Loistehon yksikkö on VAR ja näennäistehon yksikkö on VA. Tehokolmio on esitetty kuviossa 9, josta suorakulmaisen kolmion laskusääntöjä noudattamalla saadaan näennäisteho kaavalla 5 ja loisteho kaavalla 6. (Silvonen 2005, 174.)



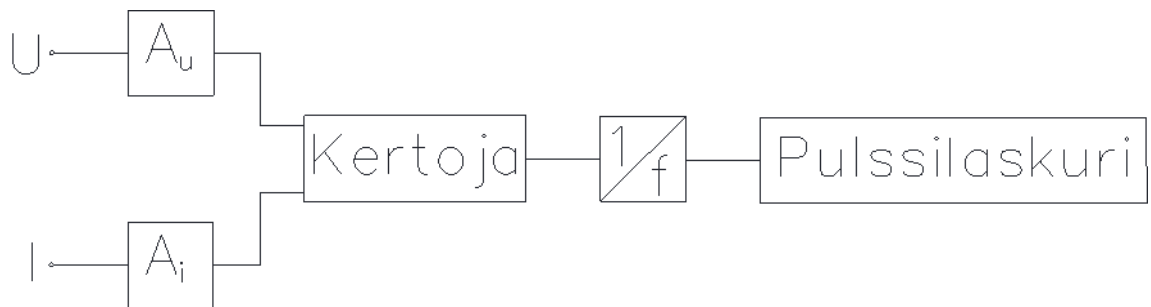
KUVIO 9. Tehokolmio (Silvonen 2005, 175.)

## 5.1 Analoginen energiamittaus

Analogiset mittarit perustuvat induktioon. Mittari koostuu kahdesta sähkömagneetista ja niiden välissä olevasta ilmatilasta, jossa on pyörivä alumiinilevy. Levyyn vaikuttaa sähkömagneettiset vuot, jotka aiheuttavat levyn pyörimiseen vaikuttavan momentin. Ensimmäinen sähkömagneetti on pienikierroksinen, ja sen läpi ohjataan kuorma virta. Toinen sähkömagneetti on suurikierroksinen ja sen yli kytketään jännite. Yhdessä jännite ja virta muodostavat levyä pyörittävän vuon, ja pyörivään levyn kierrosmäärästä voi päätellä kulutetun energian. Lisäksi levy pyörittää numerokiekkolaskuria, josta näkee energiankulutuksen. (Halko, Launonen, Malinen ja Välimaa 1987, 37.)

## 5.2 Elektroninen energiamittaus

Nykypäivänä lähestulkoon kaikki uudet energiamittarit ovat elektronisia, ja ne ovat syrjäyttämässä analogiset mittarit. Elektronisten mittausmenetelmien etuina ovat laaja mitta-alue, mittaustarkkuus, sama mittaustarkkuus 1- ja 3-vaihe -mittauksissa yliaaltojen huomiointi, ei liikkuvia osia, käyttöasento ei vaikuta tarkkuuteen, tärinä ei haittaa ja laaja käyttölämpötila. Analogisista mittareista ei yleensä saada kuin yhtä tietoa, kuten energiankulutuksen, mutta elektroniselta mittarilta voidaan saada yhtä aikaa taajuus, tehokerroin, vaihe-ero, tehollisarvot, pätö-, lois- ja näennäistehotietoja sekä energiakulutustiedon. Elektroninen mittauslaite koostuu jännite- ja virtamuuntimista, joista tieto ajetaan piirille, joka sisältää prosessorin ja muistia, mitkä suorittavat erilaisia laskutoimituksia. Laitevalmistajien mittarit toimivat yleensä samalla periaatteella, mutta prosessorin laskutoimitukset voivat erota toisistaan. (Halko ym. 1987, 39.) Kuviossa 10 on esitetty elektronisen energiamittarin periaatekaavio. Jännite ja virta muunnetaan muuntajilla ja RC-kytkennöillä sopivan tasoiseksi kertojalle. Kertoja muuttaa virran ja jännitteen hetkellisen arvojen tuloon verrannollisen tehon, joko tasajännite- tai tasavirtatasoksi. Saatu tasajännite tai – virta muutetaan  $1/f$  taajuusmuuntimessa tehoon verrannolliseksi pulssitaajuudeksi. Pulssien määrä laskemalla saadaan kulutettu energiatieto. (Halko ym. 1987, 39.)



KUVIO 10. Elektronisen energiamittarin periaatekaavio

Kuvion 10 energiamittausperiaate-kaavio ei ota huomioon jännitteen ja virran aallon muotoja. Nykyisissä mittauspiireissä mikroprosessori laskee virran ja jännitteen suhteen hetkellisistä arvoista, jolloin jännitteen ja virrankäyrien ei tarvitse olla sinimuotoisia.

## 6 ENERGIAMITTARI

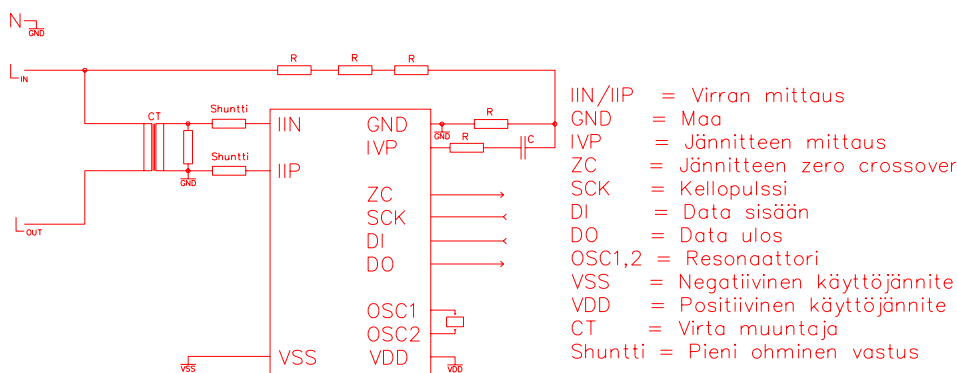
Energiamittariksi valittiin elektroninen mittari. Elektronisen mittarin etuja ovat mittaus-tarkkuus, mitattavien tietojen monipuolisuus ja pienempi tilan tarve. Käyttölämpötila ja tärinän sietokyky mahdollistavat sen monipuolisemmat asennukset. Myös datan siirto palvelimelle on helpompaa elektronisesta muodosta kuin analogisesta. Energiamittarin valintavaatimuksiin kuului pulssiuloslähtö ja lämpötilan sieto kyky  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  asti.

### 6.1 DIN-kiskoon liitettävät energiamittarit

Alkuperäisen moduuli-idean perusteella tutkin valmiita energiamittareiden soveltuvuutta autopistorasioiden energiamittaukseen. En kuitenkaan löytänyt yhtään energiamittaria, joka olisi soveltunut valmistajan antamien tietojen mukaan yli  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$  asti. Useimmissa mittareissa LCD-näyttö oli luultavasti syy mittarin alhaiseen lämpötilakestoisuuteen. Autopistorasiassa ei ole kovin paljon tilaa, joten piti ottaa huomioon myös mittarin käyttämä tila. Lovato Electric:llä olisi ollut kokonsa puolesta sopivia mittareita, jotka olisivat vieneet vain yhden DIN-kiskopaikan, mutta niiden käyttölämpötila oli enimmäkseen  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Energy meters). Tutkiessani valmiita mittareita, huomasin, ettei kaikissa data-lehdissä ollut mainittu tuotteen lämpötilakestoisuutta.

## 6.2 IC-piiristä rakennettavat energiamittarit

IC-piirillä olevia energiamittareita löytyy laaja kirjo markkinoilta. Monien kohdalla käyttölämpötila muodostui ongelmaksi. Osan IC-piirien valmistajien data lehdillä oli merkintöjä joita en ymmärtänyt, joten nämä jouduin myös hylkäämään. IC-piiri ei itsessään riitä energiatiedon saantiin verkkovirrasta. Kytkentään täytyy mitoitaa virta- ja jännitemuuntaja muuntamaan suureet piirille sopiviksi tasoiksi. Kuviossa 11 on esitetty pelkistetty kuva IC-piirille tulevasta kytkennästä. Kuviossa 11 virtamuuntaja CT muuntaa virran pienempään tasoon, josta IC-piiri mittaa shunttien avulla virran arvon. Piirin prosessori muuntaa virran takaisin alkuperäiselle tasolle ja laskee tästä energia kulutuksen. IC-piirin IVP mittaa jännitettä. IVP:tä edeltävät vastukset pienentävät jännitteen tason piirille sopivaksi. Piiri taas muuttaa jännitteen takaisin alkuperäiseen arvoon ja käyttää arvoa energiakulutuksen laskemiseen.



KUVIO 11. IC-piirin pelkistetty kytkentä

## 6.3 Energiamittaus testialustat

Piirilevyjä, joissa on energiamittaus IC-piiri, ei haluttu alkaa itse suunnitella ja rakentaa, vaan valittiin kaksi erilaista valmista testialustaa. Toinen valituista testialustoista oli Microchip MCP3905EV ja toinen Texas Instruments TI's Energy Watchdog. Molempien testi alustojen käyttölämpötila oli tarkoitukseen sopiva. Testialustan valinnassa täytyy ottaa huomioon koko, virtakestoisuus, mittaustarkkuus, yliaaltojen huomioiminen ja yleinen sopivuus käyttötarkoitukseen.

### 6.3.1 MCP3905EV energian mittaus testialusta

Piirikortti pitää sisällään kuormalle AC-pistokkeet, virtamuuntajat, Shuntti-vastuksen paikan, itse vastuksen ja ulostuloliitännät. Piirikortti on tarkoitettu testialustaksi, jolla voidaan testata IC-piiriä ja sen ympärille tulevia muuntajia ja Shuntteja. Piirikortin piiri pystyy mittaamaan pelkästään energiankulutusta. Tämän kortin piiristä ei saa tietoa ulos niin paljon kuin TI's Energy Watchdogista, mutta saa kuitenkin kulutuksen kannalta kaikkein oleellisimman energiatiedon eli pätötehon. MCP3905EV pitää sisällään MCP3905A-piirin, jonka mittaustarkkuus on 500:ttä wattia kohden 0,1 prosenttia. Kuitenkin piirikortille on helppo vaihtaa MCP3906A-piiri, jonka mittaustarkkuus on 1000:tta wattia kohti 0,1 prosenttia. Testialustan virran kestoisuus on 10 ampeeria, mutta muuntamalla komponentteja voidaan virrankestoisuus saada haluttuun 16 ampeeriin. (MCP3905EV 2012.)



KUVIO 12. MCP3905EV (MCP3905EV 2012.)



### 6.3.2 TI's Energy Watchdog energian mittaus testialusta

Laite on suunniteltu kytkettäväksi pistotulpalla verkkovirtaan, ja laitteessa on paikka pistotulpalle, johon voidaan kytkeä haluttu kuorma. Laitteen pistotulppa ja pistorasia ovat yhdysvaltalaisen standardin mukaiset eli eri tyyppiä kuin Suomessa käytetyt pistotulpat. Laite täytyy muokata Suomen pistorasialle ja -tulpalle sopivaksi tai tulee käyttää adaptereita. (TI's Energy Watchdog.) Yhdysvalloissa verkkovirta on 120 VAC ja 60 Hz, mutta laitteen sisäinen RC-kytkentä kestää Suomen verkkovirran (SLAA494, 5). RC-kytkentä muuttaa syöttöjännitteen laitteen energiamittauspiirille sopivaksi tasoksi. Laitteessa on pulssiulostulo, josta saa laitteen keräämän datan siirrettyä palvelimelle. Laitteen pulssiulostulosta saa ulos jännitteen, virran ja taajuuden, sekä pätö-, lois- ja näennäistehon, tehokertoimen ja energian kulutuksen. (TI's Energy Watchdog 2012.) Laite sisältää MSP430AFE2x3- piirin, jonka mittaus tarkkuus 0,1 prosenttia 2400 wattia kohden. Watchdog:n virran kestoisuus on haluttumme 16 ampeeria (MSP430AFE2x3 2011, 1).



KUVIO 13. TI's Energy Watchdog (TI's Energy Watchdog 2012.)

## 7 OHJAUS MAHDOLLISUUDET

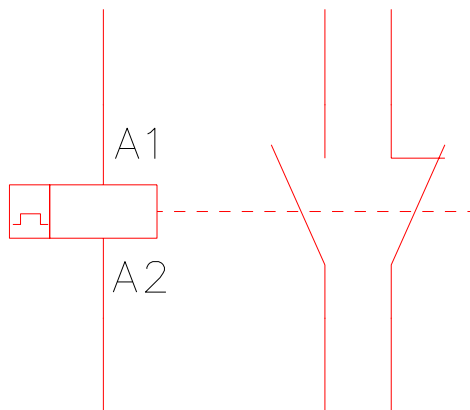
Langaton ohjaus toteutetaan MWW-Smartplug-laitteen MSP430-piirin digitaalisella ulostulolla. Digitaalisesta ulostulosta saadaan maksimissaan 3 V, mutta jännitettä voidaan vahvistaa transistorikytkennällä. Transistorikytkennän virtaa ei välttämättä saada kuitenkaan nousemaan niin suureksi, että sillä saisi viiden voltin sysäysrelettä ohjattua.

### 7.1 Ohjauksien vertailu

Ohjaustavoista mietin kolmea erilaista: Rele, Triac ja IGBT. Ohjaustapaa miettiessä täytyy miettiä kuorman laatua, kestävyyttä, käyttökertoja, jäähdytystä, turvallisuutta etenkin kuorman poiskytkentä tilanteessa ja hintaa. Huomioon täytyy ottaa myös MWW-Smartplug laitteesta ulostulevan kolmen voltin tasajännitteen pulssiulostulon muuntaminen sopivaksi käyttöjännitteeksi ohjaukselle.

#### 7.1.1 Rele-ohjaus

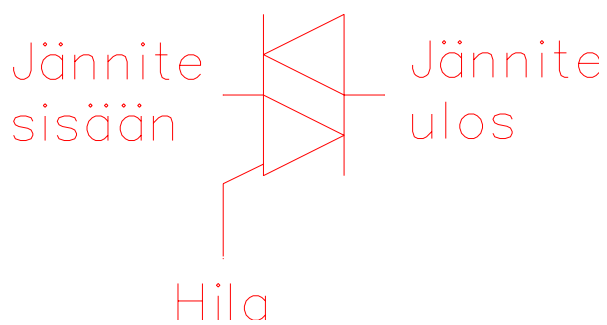
Sähkömekaaninen komponentti, joka kuluu käytettäessä. Kun rele kytketään pois päältä, se tekee galvaanisen erotuksen virtapiirien välille ja on näin ollen turvallinen. Yleisesti releellä voi ohjata myös induktiivista- ja kapasitiivista kuormaa, mutta tämä kannattaa tarkastaa vielä releen teknisistä tiedoista. Releellä voidaan toteuttaa syötön ohitus ulkoiselle kello-ohjaukselle liitteen 2 mukaisella kytkennällä. Rele ei tarvitse jäähdytystä. Kuviossa 14 on esitetty rele kytkentä. (Harraste Elektroniikka 2011.)



KUVIO 14. Rele kytkentä

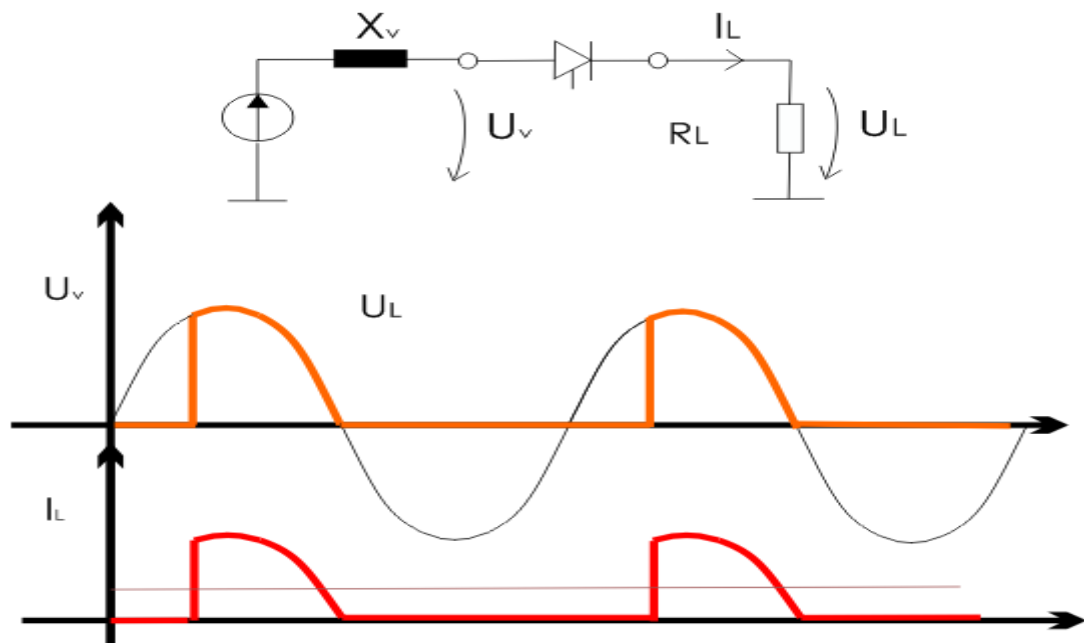
### 7.1.2 Triac-ohjaus

Triac on rakennettu kahdesta rinnan kytketystä Tyristorista. Tyristorit on kytketty Triac:ssa päinvastoin, jotta Triac pystyisi toimimaan vaihtojännitteen molemmilla puolijaksoilla (Honkanen 2012, 6). Tyristorit Triac:ssa on esitetty kuviossa 15.



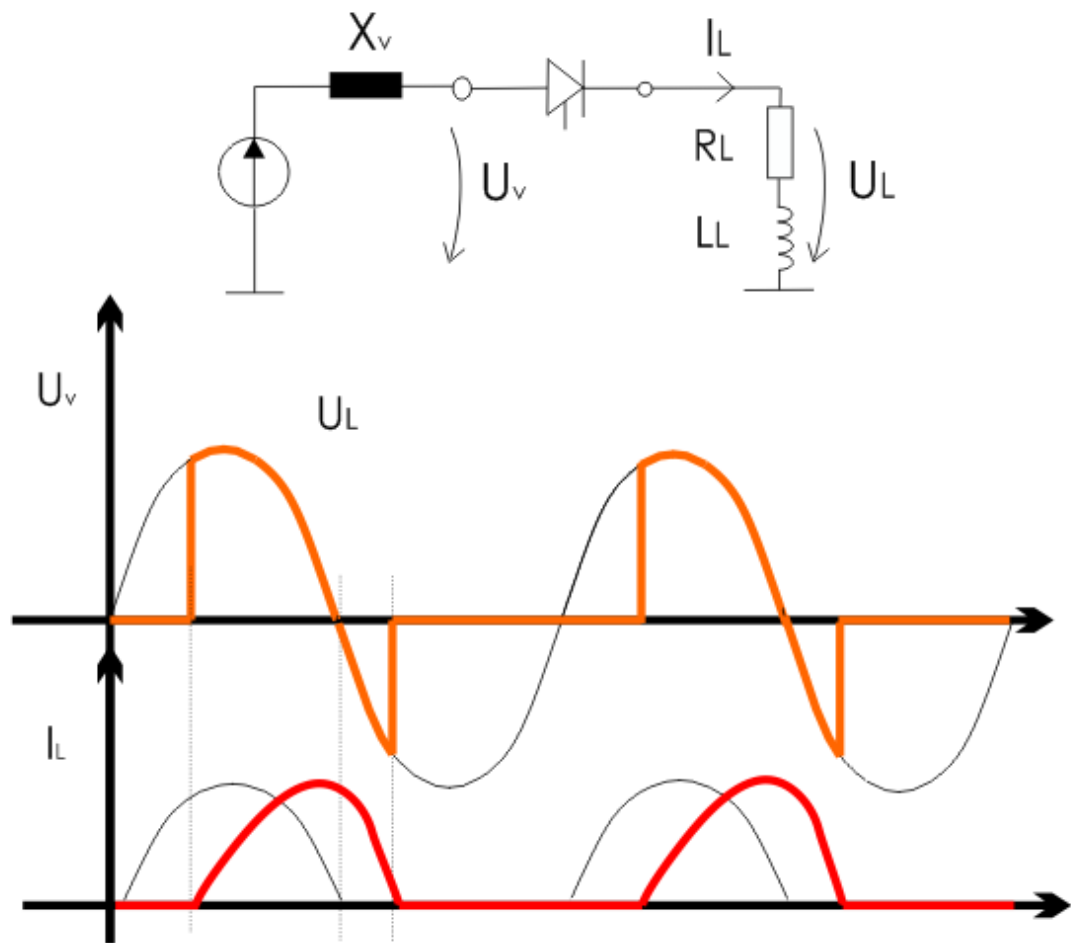
KUVIO 15. Triac-rakenne

Triac on aktiivinen komponentti, jonka tilaa voidaan ohjata syöttämällä Triac:n Hilalle tarvittava lukkiutumisvirta, joka tekee siitä johtavan. Triac pysyy johtavana niin kauan, kun virta ei alene alle pitovirran. Triac:n kautta voidaan kuljettaa suuria virtoja ja jännitteitä. Se kytkeytyy johtavaksi hitaasti, mutta siinä on pienet johtavan tilan häviöt (Honkanen 2012, 1). Triac ei sammu heti kun ohjauspulssi lakkaa vaan se menee puolijakson loppuun asti. Kuviossa 15 on esitetty pelkistetty kuvaus Triacin sammuttamisesta transistorikytkennällä resistiivisellä kuormalla. (Hietalahti 2012, 10.)



KUVIO 16. Triac-ohjauksen sisäisen transistorin toiminta resistiivisellä kuormalla (Hietalahti 2012, 10.)

Triac kytkennässä oleva induktanssi aiheuttaa piirille takavirtapiikin, mikä ei ole toivottua. Kuviossa 17 on esitetty Triac kytkennässä syntynyt takavirtapiikki pelkistettynä kuviona transistorikytkennällä. Takavirtapiikissä piirin jännite ei sammu hetkellä nolla, vaan jatkaa vielä negatiiviselle jännitteen puolelle. Triac:a ei suositella induktiivisen kuorman ohjaukseen. (Hietalahti 2012, 11.)

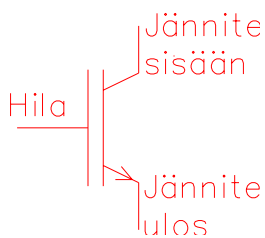


KUVIO 17. Takavirtapiikki induktiivisella kuormalla transistorilla (Hietalahti 2012, 10.)

Jäähdytys täytyy ottaa huomioon suurilla virroilla, Triac ohjauksessa. Suuri virta lämmittää Triac:a ja voi johtaa komponentin hajoamiseen. Triac:illa pystytään ohjaamaan valaistuksen voimakkuutta hehku- ja halogeenivaloissa, hyödyntäen hilalle tulevaa virtapulssien katkomista. Triac ei itsessään tee galvaanista erotusta, mutta sellainen voidaan rakentaa hyödyntäen optoerotinta. (Harraste Elektronikka 2011.) Syötön ohitukseen Triac ei sovellu itsenäisesti, vaan kytkentään tarvittaisiin kaksi Triac:ia, toinen ohjaamaan kuormaa ja toinen syötön ohitusta.

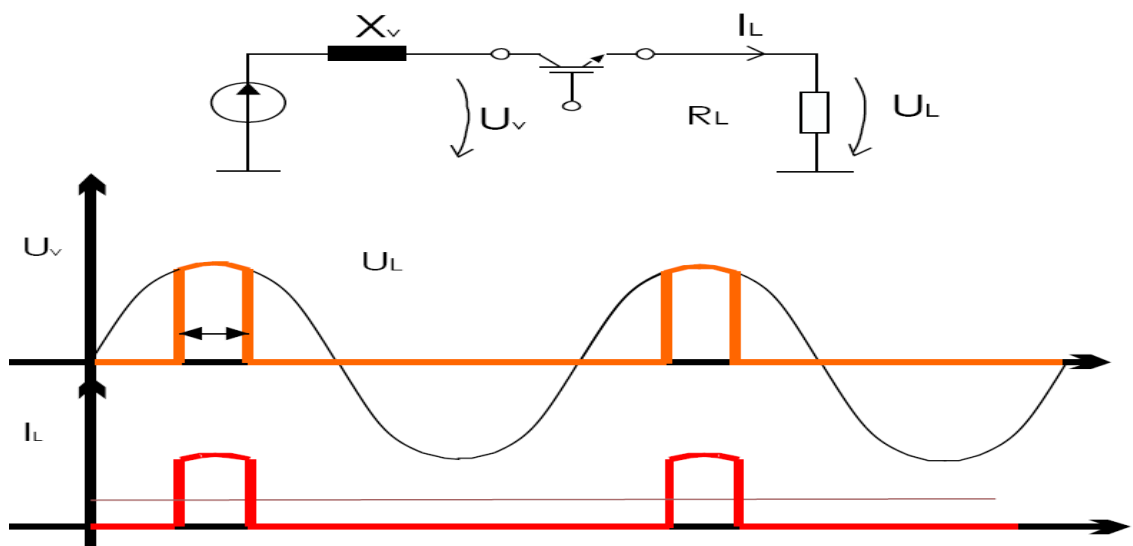
### 7.1.3 Tehotransistori-ohjaus IGBT

IGBT tulee sanoista insulated gate bipolar transistor eli hilalta eristetty bipolaaritransistori. IGBT on yhdistelmä Fett- ja BJT-tekniikasta. IGBT:tä voidaan ohjata johtavaksi nostamalla hilan kynnysjännitettä. Ja laskemalla hilan kynnysjännite nolleen tai pudottamalla se negatiiviseksi IGBT sammuu. (Hietalahti 2012, 7.) Ohjausenergian tarve on pieni, mutta kytkentähäviöt ovat suuremmat kuin Triac:issa (Honkanen 2012). IGBT:n piirrosmerkki on esitetty kuviossa 18.



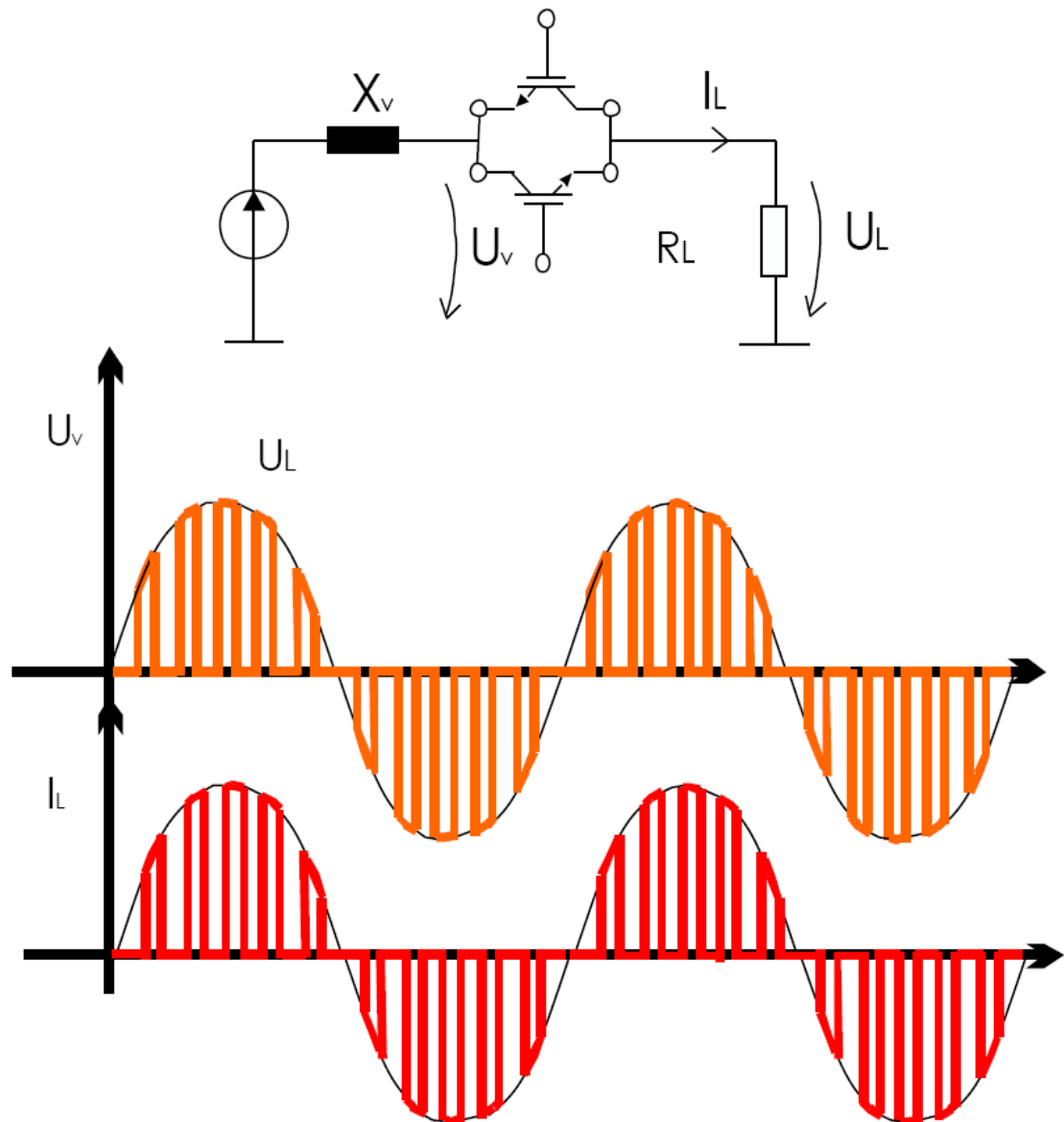
KUVIO 18. IGBT:n rakenne

Kuviossa 18 resistiivisellä kuormalla virta ja jännite ovat samanmuotoisia IGBT:llä ohjattaessa. IGBT:n etu Triac:iin verrattuna on kytkentätaajuuden suuruus. IGBT:tä pystyy kytkemään jopa sadan kHz:n taajuudella. (Hietalahti 2012, 11.)



KUVIO 19. Virran ja jännitteen käyttäytyminen IGBT:llä ohjattaessa (Hietalahti 2012, 12.)

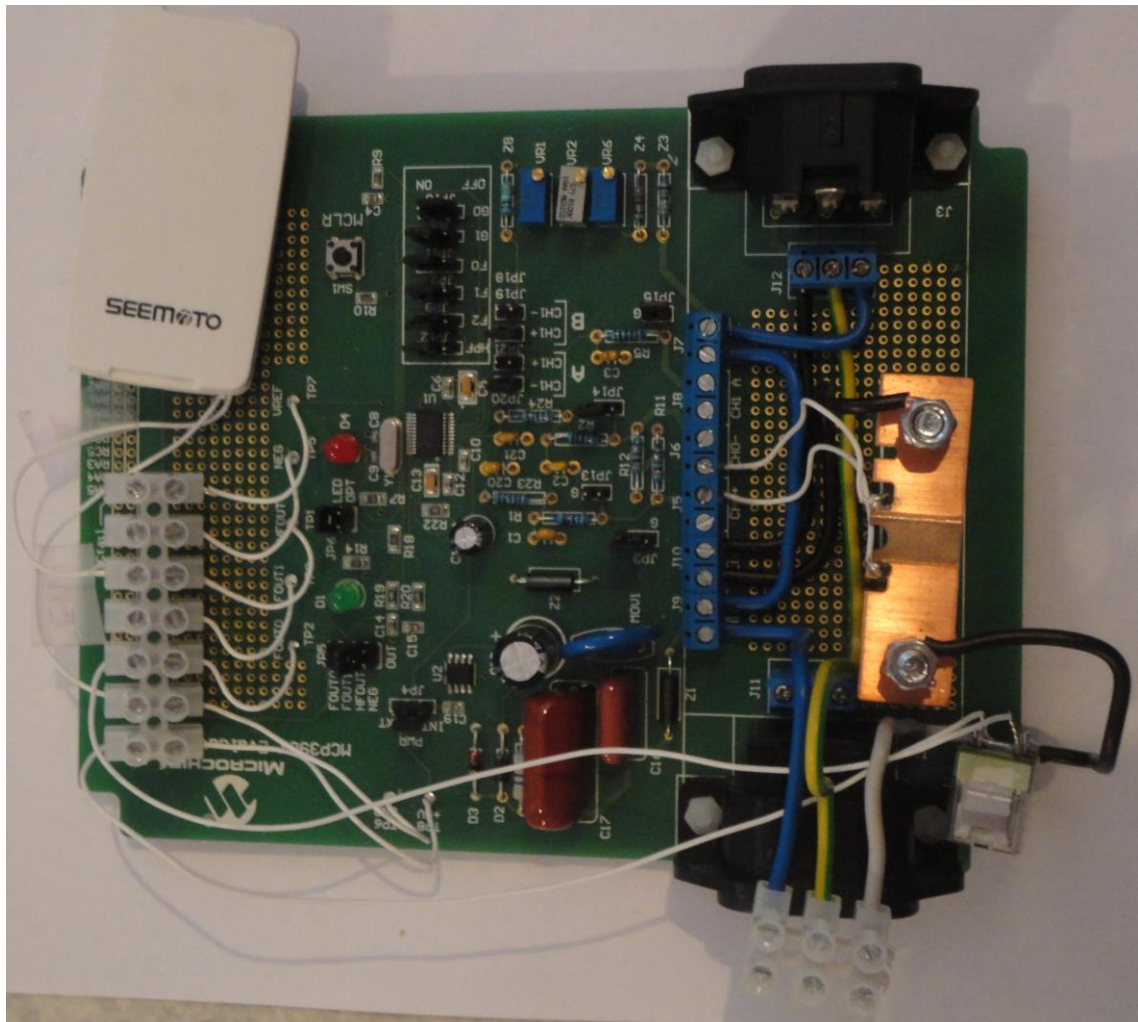
IGBT pystytään sytyttämään ja sammuttamaan aallon puolikkaalla jopa sadan kHz:n taajuudella. Tämä mahdollistaa kuormatehon ohjauksen tasaisesti aallonmuotoja myötäillen. Jännitteen leikkaamista IGBT:llä on esitetty kuviossa 20. (Hietalahti 2012, 12.)



KUVIO 20. Virran ja jännitteen käyttäytyminen IGBT:llä ohjattaessa (Hietalahti 2012, 12.)

## 8 LAITTEEN RAKENTAMINEN

Laite koostuu useasta eri toimilaitteesta, jotka on tarkoitus yhdistää yhdeksi tai useaksi erilaiseksi kokonaisuudeksi. Laitteen päätarkoitus on ohjata ja mitata sähköenergian kulutusta. Jokainen laitteen toimilaite testattiin itsenäisesti toimivaksi, ennen kuin ne yhdistettiin yhdeksi kokonaisuudeksi. Kuviossa 21 on esitetty laitteen testaus ympäristön kuva rele-ohjauksella.



KUVIO 21. Laitteen testausympäristö rele-ohjauksella



## 8.1 Toiminnan yleiskuvaus

Koko rakennettava laite rakennetaan MWW-Smartplug:n rinnalle. MWW-Smartplug pitää sisällään Zigbee-radiolähtetimen, jolla se kommunikoi gatewayn välityksellä palvelimen kanssa. Smartplug pitää sisällään pulssianturin, jolla se ottaa energiakulutustiedon energiamittarin pulssiulostulosta. Kuormalle tulevaa jännitettä pystyy ohjaamaan palvelimen kautta, mikä mahdollistaa laitteella kuorman kytkennän päälle/pois-tilaan tai ohjata valaistuksen dimmingiä. Palvelimen kautta ohjataan MWW-Smart plug-laitteen 0-3 voltin ulostuloa, jolla ohjataan laitteen ohjainta. Laitteen toiminta on kuvattu liitteessä 1.

## 8.2 Energiamittaus

Mittauksen testaus piti toteuttaa TI's Energy Watchdog:a ja Microchip:n MCP3905EV testialustoille. TI's Energy Watchdog:a laitteistoa emme kuitenkaan saaneet koskaan valmistajalta, joten laitteisto rakennettiin vain MCP3905EV testialustan avulla, vaikka sen mittaustarkkuus oli huonompi kuin TI's Energy Watchdog:n ja sen pulssiulostulosta sai ulos vain patotehon. Energiamittarin oikeellisen tehoarvojen testaamiseksi, mittasin testikuorman pätötehoa myös Hagerin EC 350 mittarilla ja Fluken 123 ScopeMeter-mittarilla. MCP3905EV energiamittariin tehtiin ohjeiden vaatimat sähkökytkennät ja lisättiin mittaukseen tarvittava Shuntti vastus. Piirilevyyn oli porattu shuntti vastusta varten standardien mukaiset reiät, mutta ostamamme Shuntti ei reikiin sopinut, joten jouduin tekemään piirilevyyn viritelmiä Shuntin paikoilleen saamiseksi. Energiamittariin lisättiin MWW-Smartplug laite, joka sisälsi pulssianturin, jolla saimme energiamittarin pulssiulostulosta energian kulutuksen siirrettyä palvelimelle. Energiamittarista ei tullut suoraan ulos todellista tehoa, vaan reilut kolme kertaa suurempi teho kuin mitä kuorma vertailu mittareissa näytti. Piirilevyllä oli jumppereita, joiden avulla tehon arvoa pystyi muuttamaan kaavan seitsemän mukaan. Kaavan seitsemän  $V_0$  ja  $V_1$  ovat jännitemittaus arvot piirillä olevan Shunt vastuksen yli. Kaavan seitsemän  $G$  on vahvistus, jonka arvo muuttuu jumppereita siirtämällä kuvion 22 mukaan ja kaavan taajuuden  $HF_c$  arvoa pystyy muuttamaan jumpperilla kuvion 23 mukaan.

$$HF_{out} = \frac{V_0 * V_1 * G * HF_c}{(V_{REF})^2} \quad (7)$$

G1	G0	CH0 Gain	Maximum CH0 Voltage
0	0	1	±470 mV
0	1	2	±235 mV
1	0	8	±60 mV
1	1	16	±30 mV

KUVIO 22. Vahvistuksen G vaikutus (MCP3905/6 2012, 12.)

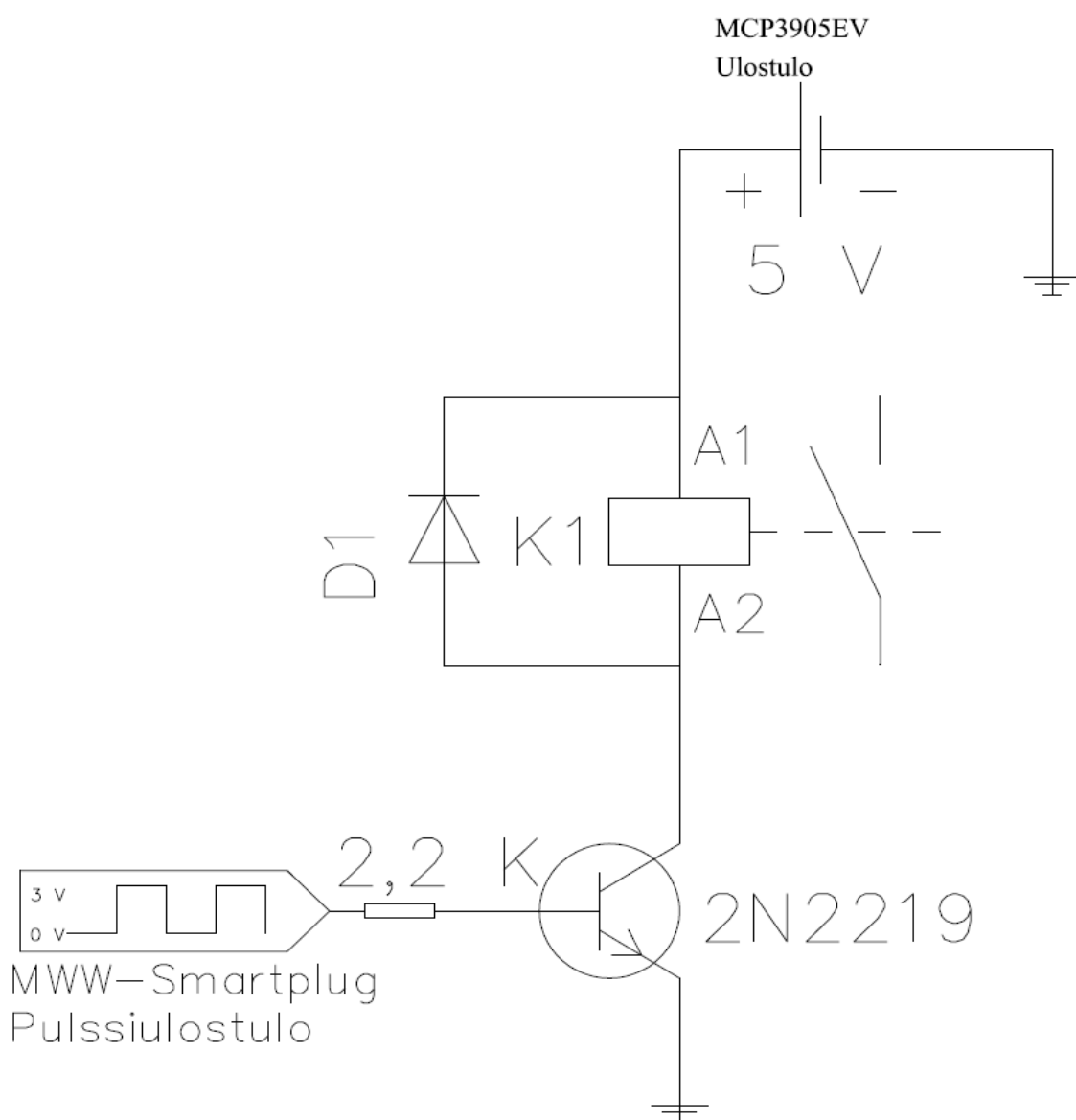
F2	F1	F0	HF <sub>C</sub>	HF <sub>C</sub> (Hz)	HF <sub>C</sub> (Hz), MCLK=3.58 MHz	HF <sub>OUT</sub> (Hz), w/ full scale AC inputs	F <sub>C</sub> (Hz)	F <sub>C</sub> (Hz), MCLK=3.58 MHz
0	0	0	64XF <sub>C</sub>	MCLK/2 <sup>15</sup>	109.25	23.71	MCLK/2 <sup>21</sup>	1.71
0	0	1	32XF <sub>C</sub>	MCLK/2 <sup>15</sup>	109.25	23.71	MCLK/2 <sup>20</sup>	3.41
0	1	0	16XF <sub>C</sub>	MCLK/2 <sup>15</sup>	109.25	23.71	MCLK/2 <sup>19</sup>	6.83
0	1	1	2048XF <sub>C</sub>	MCLK/2 <sup>7</sup>	27968.75	6070.12	MCLK/2 <sup>18</sup>	13.66
1	0	0	128XF <sub>C</sub>	MCLK/2 <sup>14</sup>	219.51	47.42	MCLK/2 <sup>21</sup>	1.71
1	0	1	64XF <sub>C</sub>	MCLK/2 <sup>14</sup>	219.51	47.42	MCLK/2 <sup>20</sup>	3.41
1	1	0	32XF <sub>C</sub>	MCLK/2 <sup>14</sup>	219.51	47.42	MCLK/2 <sup>19</sup>	6.83
1	1	1	16XF <sub>C</sub>	MCLK/2 <sup>14</sup>	219.51	47.42	MCLK/2 <sup>18</sup>	13.66

KUVIO 23. Taajuuden HF<sub>C</sub> muuttamisen vaikutus (MCP3905/6 2012, 16.)

Muuttamalla jumpperien arvoa ei mittarista saanut todellista tehoa, vaan lisäksi piti muuttaa piirilevyllä olevien kalibrointi vastusten arvoja. Muuttamalla vastus arvoja saatiin MCP3905EV energiamittari, Hager EC 350- ja Fluke 123 Scope Meter-mittari näyttämään samaa pätötehoa ja todettiin MCP3905EV energiamittari toimivaksi.

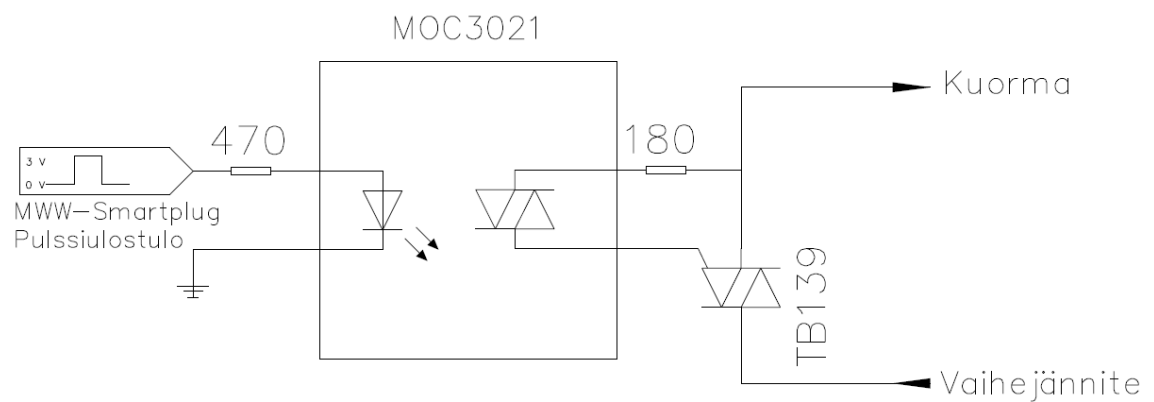
### 8.3 Laitteen ohjain

Ohjaimeksi päälle/pois tilaan saattamiseksi valitsin Relpol RM84 SMT ohjausjännitteeltään 5 VDC:tä vaativan releen. Rele kestää maksimissaan kahdeksan ampeerin virran, mutta releessä on kaksi kärkeä, ja ne yhdistämällä rinnan saadaan releen maksimi virtaksi 16 ampeeria, joka on autolämmityspistorasian sulakkeen suurin toiminnallinen virta arvo. MWW-smartplug laitteesta saa ulos vain kolme voltia tasajännitettä ja rele vaati toimiakseen viisi voltia. MCP3905EV testialustassa on viiden voltin tasajännite ulostulo jota hyödynnettiin MWW-Smartplug laitteen kanssa kuvion 24 mukaisesti.



KUVIO 24. Releen ohjaus MWW-Smartplug – laitteella

Valaistuksen ohjauksessa releellä ei pysty ohjaamaan kuin valaisimen päälle/pois –tilaa, joten valaistuksen ohjausta varten rakennettiin Triac -säädin. Triac -säätimellä voidaan jännitteen tehollisarvoa pudottaa, millä saadaan aikaan valaistusvoimakkuuden säätö mahdollisuus. Säädintä ohjataan MWW-Smartplug-laitteen pulssiulostulolla kuvion 25 mukaisesti.



KUVIO 25. Triac ohjaus MWW-Smartplug –laitteella

### **8.3.1 Kauko- ja paikallisohjaus autolämmitystolpalle**

Autolämmitystolpan ohjaus on esitetty liitteessä kaksi. Ohjaus toteutetaan pääsääntöisesti palvelun kautta, mutta ohjaukseen on rakennettu lisäksi paikallisohjaus mahdollisuus. Paikallisohjaus on tarkoitettu kellokytkimelle, jotta pistorasian saisi päälle ajastusti ilman palveluun pääsyäkin. Kauko-ohjauksen käyttö kytkee paikallisohjauksen pois päältä liitteen 2 mukaan.

## 9 MARKKINOILLE SAATTAMINEN

Tuotetta suunniteltaessa on otettava huomioon turvallisuuteen ja käyttöolosuhteisiin velvoittavat ja ohjaavat säännökset (Simonen. S, 13), kuten SFS-EN 60335-1 Kotitaloussähkölaitteiden ja vastaavien turvallisuus. Säännöksissä esitetään tuotetta koskevat minimi vaatimukset, joista keskeisimpiä sähkö- ja elektroniikkalaitetta suunniteltaessa ovat sähköturvallisuus, sähkömagneettinen yhteensopivuus, tuoteturvallisuus, paloturvallisuus ja ympäristönsuojelu. (Simonen. S, 13). Lisäksi tulee ottaa huomioon laitteen koteloitiluokan vaatimukset SFS-EN 60529 Sähkölaitteiden koteloitiluokat (IP - koodi) mukaisesti.

### 9.1 Pienjännitedirektiivi (LVD)

Direktiivi koskee kaikkia 50–1000 V vaihtojännitteellä tai 75–1500 V tasajännitteellä toimivia sähkölaitteita. Se koskee sähkölaitteen turvallisuutta ja vaatimustenmukaisuuden varmistamista yleisesti kotitalouksissa käytettäviä sähkölaitteita. Direktiivi vaatii valmistajalta vaatimustenmukaisuusvakuutusta, tekniset tiedostot mittaus tuloksineen, CE-merkintää, sekä valmistuksen sisäistä varmistamista. Vaatimustenmukaisuusvakuutus asiakirjoja on säilytettävä 10 vuotta valmistuksen päättymisestä. (Simonen. S, 14.)

## 9.2 Muut huomioon otettavat direktiivit

EMC-direktiivi määrittelee laitteen sähkömagneettisen yhteensopivuuden muille sähkölaitteille. Laite ei saa aiheuttaa häiriötä muille sähkölaitteille ja niiden on myös kestävä muista laitteista tulevia häiriötä. Lisäksi huomioon täytyy ottaa Radio- ja telepäätelaitedirektiivi, joka koskee radiolähtimiä. Radiolähtimiltä ja – vastaanottimilta vaaditaan radiotaajuuksien testaamista ja mittaamista. (Simonen. S, 14.) Mittauslaitedirektiivi koskee laitteita, joissa tuotteen hinta määräytyy mittaustuloksen perusteella. Se asettaa vaatimukset tulosten virheettömyydelle, uusittavuudelle, toistuvuudelle, mittauslaitteen erottelukyvylle herkkyydelle, luotettavuudelle, soveltuvuudelle ja tiedon suojaukselle. . (Simonen. S, 16.)

## 10 TUOTTEEN SOVELTAMINEN

Tarve saada ajantasaista kulutustietoa lisääntyy kokoajan. Ajantasainen tiedon avulla voi säästää energiaa ja säästön vaikutukset ovat nähtävissä saman tien. Tällä hetkellä sähköenergiaa myydään kaksoistariffi hintaan, eli energian hinta on edullisempaa yöllä kuin päivällä, koska energian käyttötarve on pienempi. Tulevaisuudessa energian hinta perustuu tuntitariffiin, eli kun on paljon käyttäjiä, hinta on kallista ja kun vähän käyttäjiä hinta on edullisempaa. Jotta voitaisiin hyödyntää edullista energian hintaa, tarvitaan ajantasaista kulutustietoa ja sitä hyödyntävää viisasta automaatiota. Nykyisin kuluttaja pystyy seuraamaan asunnon- tai kiinteistön energian kulutusta, mutta tulevaisuudessa energiamittaus saadaan laitekohtaisesti. Pistorasiakohtaisilla tiedoilla saadaan selville laitteiden valmiustila kuormitus ja valaistuksen energiamittauksella valaistuksen energiakulutus.

### 10.1 Ohjaus ja ajastus

Sähkölaitteiden älykkäällä ohjauksella pystytään säästämään energiaa ja samalla luomaan käyttäjämukavuutta. Ohjaus voi tapahtua lämpötilan, energiahinnan, valaistusvoimakkuuden, ilmankosteuden tai ajastetunohjauksen avulla. Kaikissa uusissa talouksissa ja yritystiloissa alkaa olla jonkinlaista kiinteistöautomaatiota. Jotta automaatiosta saadaan kaikki hyöty irti, tarvitaan monipuolista ja ajantasaista mittaustietoa. Langaton energiamittaus ja ohjauslaite toimii tällä hetkellä testikäytössä vain web-selain pohjoisesti. Selaimen avulla laite voidaan kytkeä päälle/pois manuaalisesti tai laitteen voi kytkeä päälle ajastetusti. Ajastuksen hyödyt tulevat esiin autolämmitystolpan-ohjauksessa. Ajastusta voi hyödyntää myös kotona/pois kytkimenä, jos tiedetään vakiotyöajat jolloin kotona ei ole ketään. Tällöin minkäänlaisia kuormia lämmityksen ja ilmastoinnin lisäksi ei tarvitse olla päällä. Lisäksi lämmityksen tarvetta voidaan tiputtaa ja pienentää ilmanvaihtoa.



## 10.2 Hälytykset

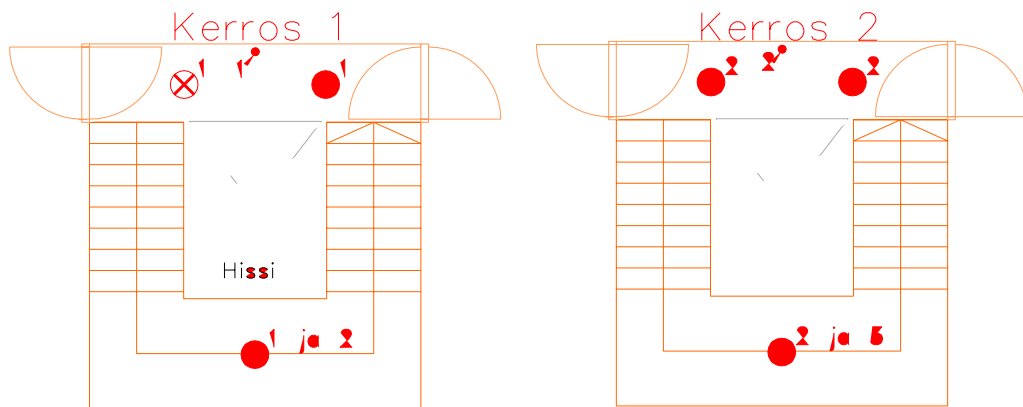
Palvelun avulla saadaan myös mitattavista kohteista hälytyksiä tekstiviestillä tai sähköpostilla. Hälytykset perustuvat palvelimelle tuleville mittaussuureille määritellyille raja-arvoille. Jos laite kytketään päälle langattomasti tulisi energian myös kulua. Jos palvelu havaitsee, että se ohjaa laitteen jännitettä, mutta minkään laista kulutusta ei ole, se tekee hälytyksen. Hälytys olisi mahdollista myös asettaa jos laitetta käytetään syötön ohituksella kohtuuttoman kauan. Hälytys saattaisi olla tarpeeton, mutta se saattaisi muistuttaa tarpeettomasta energian kulutuksesta. MWW-Smartplug -laitteeseen voidaan integroida kosteusanturi, jonka avulla saataisiin hälytystieto kostuneista kytkentärasioista, joissa laite sijaitsee. Kosteus anturien avulla on mahdollista huomata kosteuden leviäminen rakenteissa.

## 10.3 Käyttökohteet

Laitetta suunniteltaessa on pohdittu laitteen ominaisuuksien hyödyntämistä osana talotekniikan kiinteistöautomaatiota. Valaistukseen suunnitellut sovellutukset eivät ole vielä mahdollisia toteuttaa, puuttuvien anturien ja -langattomien kytkimien johdosta, mutta ovat toteutuskelpoisia. Laitteeseen asennettavat kosteus- ja lämpötila-anturit, yhdistettynä palvelun hälytysten kanssa antavat laitteelle lisä arvoa.

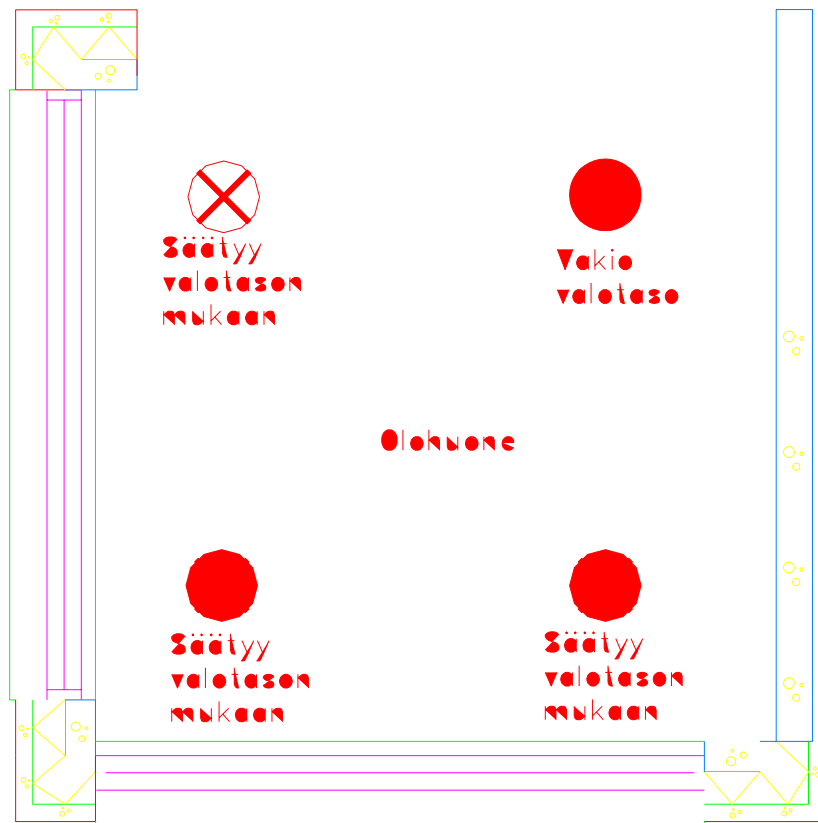
### 10.3.1 Valaistuksen ohjaus

Kerrostalojen käytävien valaistuksen ohjaus on usein toteutettu siten, että kun kytkintä painaa syttyy käytävän kaikki valaisimet. Tämä sytytys tapa on todella energia tehotonta. Rakentamalla laitteella voisi jokaiselle kytkimelle tai liiketunnistimelle määrätä mitä valaisimia ne sytyttävät. Esimerkiksi kun tulet sisään porraskäytävään ja painat kytkintä syttyisi ensimmäisen kerroksen valot ja porrasvalot kerroksen yksi ja kaksi välille Kuvion 26 mukaisesti.



KUVIO 26. Rappukäytävän valaisimienohjaus esimerkki.

Laitteella voidaan säätää lampun valaistustasoa. Valaistustasoa säätämällä voidaan luoda erilaisia valaistusvoimakkuuksia ja -tilanteita. Valaistusvoimakkuutta voi säätää valaisinkohtaisesti käyttöliittymän avulla, tietokoneelta tai tablettilta halutuksi. Valaistuksen ohjaukseen olisi tarkoitus suunnitella kytkin, jolla voisi säätää yksittäisen valaisimen valotasoa ja johon voisi tallettaa erilaisia valaistus tilanteita kuten toimistotyöskentely, esitys ja elokuva tilanne. Valaistuksen käyttämää energiaa voidaan säästää hyödyntämällä päivänvalo anturia. Anturia hyödyntäen voidaan asettaa mitkä valaisimet himmenevät päivänvalon tullessa huoneen ikkunoista. Valaistus taso pysyy kokoajan samana paistaapa ikkunasta aurinko vai ovatko verhot kiinni. Päivänvaloanturin yhdistäminen valaistusvoimakkuuden säätöön on esitetty kuviossa 27.



## KUVIO 27. Valoanturin hyödyntäminen

Perinteiset valaistuksen ohjauskytkimet on johdettu ohjaamaan tiettyä valaisinta tai valaistus ketjua. Langattomuuden myötä myös kytkimien olisi tarkoitus toimii langattomasti. Yksittäisen kytkimen tilalla voi myös olla yleiskaukosäädin johon voi ohjelmoida monen kytkimen ominaisuudet. Perinteiset kytkimet asennetaan metrinksuorakkeen lattia rajasta, mutta langattoman kytkimen voi käytännössä laittaa minne vain ja sen voi siirtää sisustusta muuttaessa. Kytkimen voi nostaa esimerkiksi korkeammalle, jotta lapset eivät ylety tai päinvastoin mahdollistaa myös perheenpienimpien omatoimisen valaistuksen päälle kytkennän.

Rakennusten hämäräkytkin on perinteisesti asennettu rakennuksen länsi-sivulle, mistä se ohjaa rakennuksen kaikki ulkovalot yhtä aikaa päälle kun tulee hämärää. Hämräkytkimiä on vain yksi, koska johdotukset rakennuksen joka sivulle olisi kallista. Langattoman valaistuksen rinnalle voisi rakentaa langattoman hämräkytkimen, jonka avulla valaistusta voisi säätää jokaiselta rakennuksen sivulta erikseen. Sääto voisi olla itsestään säätyvä valaistusvoimakkuuden suhteen, toisinkuin nykyinen päälle/pois valaistus. Ulkovalaistuksen päälle kytkennän voisi tehdä myös sovelluksessa ajastinpohjaiseksi, kun hämräkytkin huomaa valaistustason riittämättömyyden sytyttäisiin vain samalla sivulla rakennusta olevat valaisimet ja loput valaisimet syttyisivät sovellukseen asetetun ajan jälkeen. Näin kaikkien valaisimien ei tarvitsisi syttyä yhtä aikaa.

Kiinteistöjen lamput vaihtaa yleensä huoltoyhtiö. Yhtiö vaihtaa lamput säännöllisten tarkastusten yhteydessä tai kun joku tekee asiasta ilmoituksen. Lamppujen vaihtoon hälytys toiminto sopisi erinomaisesti. Kun valaisin on kytketty päälle ja energiaa ei kulu palaneesta lampusta johtuen, menisi hälytys huoltoyhtiölle ja tämä voisi käydä tarkastamassa onko lamppu palanut vai onko kyseessä todellinen vika.

### 10.3.2 Pistorasia ohjaus

Laitteella saadaan tietoon yksittäisen pistorasian tai pistorasia ryhmän energia kulutus. Kytkeäntavasta riippuen voidaan ohjata pistorasiaa tai pistorasia ryhmää käyttöliittymän tai langattoman kytkimen avulla. Pistorasia ohjauksen avulla voidaan autotolppa asettaa lämmittämään auto lämpimäksi halutuksi kelloajaksi. Aika ohjauksen olisi tarkoitus ottaa huomioon ulkolämpötila ja lämmittää autoa vain ulkolämpötilan tarpeiden mukaan. Taulukossa 1 on esitetty suositukset auton lämmittämiseksi ulkolämpötilan mukaan (Kodin energiaopas).

Taulukko 1 Auton lämmitystarve ulkolämpötilan mukaan

Ulkoilman lämpötila	Sopiva lämmitysaika	
	Lohkolämmitin	Säteilylämmitin
+5 - -5	0,5 h	1 h
-5 - -10	1 h	2 h
-10 - -20	2 h	3 h

Pistorasioiden laitteiden energian kulutusta valmiustilassa voidaan tarkkailla, ja paljon turhaa energiaa kuluttavia laitteita kytkeä sähköttömäksi kun niitä ei käytetä. Kodin pistorasioita voidaan ohjata jännitteettömäksi aina kun ei olla kotona, joko kotona/pois kytkimellä tai palvelun avulla asettamalla ajan jolloin sähköä pistorasiaan ei tule. Kotona/pois kytkin yhdistettynä palveluun voidaan samalla kytkimellä ohjata myös kodin automaatio-laitetta pudottamaan lämpötilaa alemmaksi kuin paikalla ei olla. Tulevaisuudessa langattomiin kodinpistorasioihin tulee todennäköisesti syötön ohitus kytkin jolla sähköä saisi pistorasiasta ilman sovelluksen käyttöä.

Uusissa kodin viihde-elektroniikka laitteissa alkaa olla sisään rakennettu ZigBee-radio, joka kuuluu ZigBee-standardien ala kategoriaan Home automation. Viihde-elektroniikan ZigBee-tekniikkaa voidaan hyödyntää yhdessä pistorasia ohjauksen kanssa. Kun elektroniikka-laite sammutetaan kauko-ohjaimesta sekä laite että pistorasia kytkeytyvät pois päältä. Näin säästetään tyhjäkäynti tehon käytössä. Samalla periaatteella toimii laitteet käynnistäminen kaukosäätimestä.

## 11 YHTEENVETO

Esittelin työssäni erilaisia vaihtoehtoja toteuttaa langaton energianohjaus sekä niiden mahdollisuuksia ja hyötyjä. Tämän lisäksi pohdin energiamittauksen mahdollisuuksia kylmissä olosuhteissa.

Opinnäytetyön alkuperäinen tarkoitus oli saada autopistorasiaan langaton energianmittaus ja energianohjaus. Työn alkuvaiheessa valmiiden energiamittareiden lämpötilakertoisuus kylmissä olosuhteissa muodostui ongelmaksi. Tästä johtuen aloin rakentamaan laitetta piirilevyllä, jossa on yhdistettynä energianmittaus ja -ohjaus sekä langaton zigbee-radiolähetin. Laitetta suunniteltaessa mukaan tuli valaistusvoimakkuuden säätäminen, mikä lisäsi työn haastavuutta.

Energianmittausta varten valittiin kaksi valmistajaa, joista toisen valmistaman laitteen testiympäristöä ei koskaan saatu valmistajalta. Rakentamani testilaitteen tehonkesto ei yllä vielä 10 A suuremmaksi johtuen energiamittausalustasta. Mittausalusta on kuitenkin mahdollista muuttaa kestävämmäksi haluttua 16 A ja näin saada autonlämmitystolppa toimimaan langattomalla mittauksella ja ohjauksella.

Opinnäytetyön teki haastavaksi elektroniikkakomponenttien ja -sovellutuksien ymmärtäminen, koska se ei suoranaisesti kuulu opintosuuntautumiseeni. Ajantasaista kirjallisuutta ei ollut kaikista aihealueista saatavilla, kuten esimerkiksi digitaalisen energiamittauksen periaatteista. Työ oli kaikin puolin opettavainen ja inspiroiva. Uskon, että laitteella on myös hyvät mahdollisuudet kaupallistumiseen, koska energianhinta tulee nousemaan tulevaisuudessa, ja se on muuttumassa tuntitariffi-perusteiseksi. Laite vaatii vielä kuitenkin tuotekehitystä ja testausta, jotta siitä saadaan käyttövarma ja turvallinen.

## LÄHTEET

Ahoranta, J. 2002. Sähkötekniikka. Porvoo: WS Bookwell Oy

Energiamarkkinavirasto. kuvaaja. Luettu 29.12.2011  
<http://www.sahkonhinta.fi/summariesandgraphs>

Halko, P., Launonen, H., Malinen, R. & Välimaa, T. 1987. Sähkömittaustekniikka. Helsinki: Valtion painatuskeskus

Harraste Elekroniikka. Releen ja Triac –kytkimen eroja verkkosähköllä  
<http://koti.mbnet.fi/huhtama/ele/index.php?si=ukk&pa=&ukk=2180551>

Hietalahti, L. TehoEle-2009-2010-03.pdf. Luettu 24.1.2012

Honkanen, H. Tehoelekroniikka. Luettu 2.1.2012  
[http://gallia.kajak.fi/opmateriaalit/yleinen/honhar/ma/ELE\\_Tehoelekroniikka\\_1.pdf](http://gallia.kajak.fi/opmateriaalit/yleinen/honhar/ma/ELE_Tehoelekroniikka_1.pdf)

Honkanen, H. Triac -säädin. Luettu 2.1.2012  
[http://gallia.kajak.fi/opmateriaalit/yleinen/honHar/ma/AMK\\_Labra\\_%20TRIACs%C3%A4%C3%A4din.pdf](http://gallia.kajak.fi/opmateriaalit/yleinen/honHar/ma/AMK_Labra_%20TRIACs%C3%A4%C3%A4din.pdf)

Kinney, P. 2003. ZigBee Thechnology: Wireless Control that Simply Works. Kinney Consulting LLC

Kodin energiaopas. Auton lämmitys. Luettu 16.2.2012  
<http://www.tts.fi/kodinenergiaopas/valaistus/auto.htm>

Lehtonen, J. Loistehon kompensointi. Luettu 1.2.2012  
[http://www.tampereensahkolaitos.fi/NR/rdonlyres/B4C52258-7DAF-4BC7-8EEC-B06DFEDAF911/0/TSV\\_loisteho\\_ohje\\_20101117.pdf](http://www.tampereensahkolaitos.fi/NR/rdonlyres/B4C52258-7DAF-4BC7-8EEC-B06DFEDAF911/0/TSV_loisteho_ohje_20101117.pdf)

Lovato Electric. Energy meters. Luettu 11.10.2011  
[http://media.klinkmann.fi/pdf/fi/lovato/lovato\\_Energy\\_meters.pdf](http://media.klinkmann.fi/pdf/fi/lovato/lovato_Energy_meters.pdf)

MCP3905EV. Luettu 15.12.2011  
<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/51567b.pdf>

MCP3905/6. Luettu 20.1.2012  
[ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/22011a.pdf](http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/22011a.pdf)

MSP430AFE2x3. Luettu 24.1.2012  
<http://www.ti.com/lit/ml/slyt428/slyt428.pdf>

Silvonen, K. 2005. Sähkötekniikka ja elektronikka. Helsinki: Hakapaino Oy



SLAA494. Luettu 14.12.2011

<http://www.ti.com/lit/an/slaa494/slaa494.pdf>

Simonen, S. 2009. Sähkölaitteiden ja –tarvikkeiden turvallisuus Suomessa. Turvatekniikan keskus

Suomen Standardisoimisliitto SFS ry, SFS-EN 50160:2008. Yleisen jakeluverkon jake-  
lujännitteen ominaisuudet. sivulla13

TI's Energy Watchdog. Luettu 15.12.2011

<http://www.ti.com/lit/ug/slau362/slau362.pdf>

Wireless Platform. IEEE 802.15.4. Luettu 19.12.2011

[http://wirelessplatform.savonia.fi/index.php?option=com\\_content&task=view&id=29&Itemid=53](http://wirelessplatform.savonia.fi/index.php?option=com_content&task=view&id=29&Itemid=53)

Wireless Platform. Radiotaajuudet. Luettu 19.12.2011

[http://wirelessplatform.savonia.fi/index.php?option=com\\_content&task=view&id=31&Itemid=55](http://wirelessplatform.savonia.fi/index.php?option=com_content&task=view&id=31&Itemid=55)

Waggle dance. Luettu 19.12.2011

[http://en.wikipedia.org/wiki/Waggle\\_dance](http://en.wikipedia.org/wiki/Waggle_dance)

ZigBee Alliance. ZigBee Technology. Luettu 19.12.2011

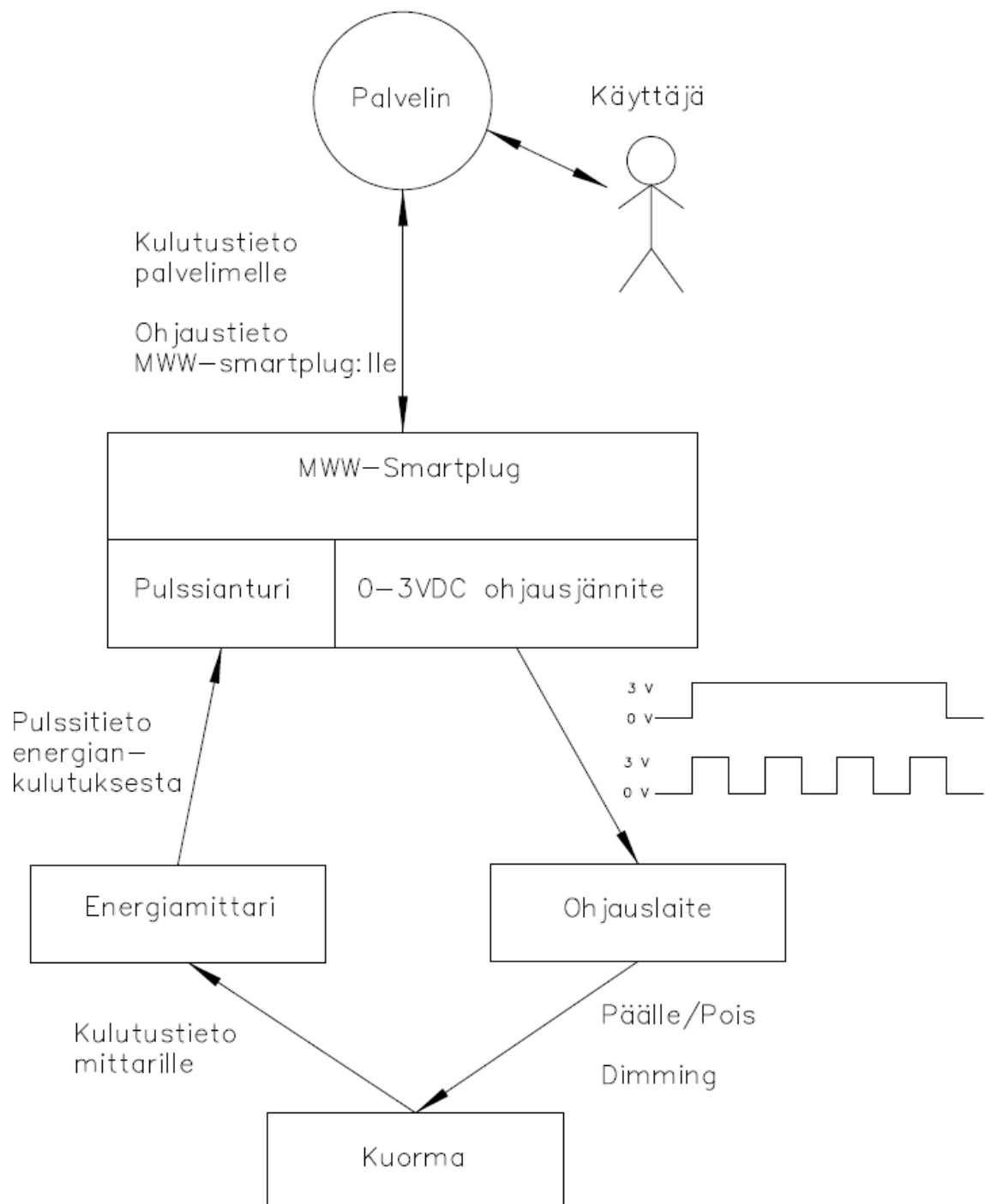
<http://www.ZigBee.org/About/AboutTechnology/ZigBeeTechnology.aspx>

ZigBee Alliance. ZigBee Standard Overview. Luettu 13.01.2012

<http://www.ZigBee.org/Standards/Overview.aspx>

## LIITTEET

Liite 1. Laitteen toiminnan kuvaus



## Liite 2. Kauko- ja paikallisohtaus

